



# Physikalisch-Technische Bundesanstalt

## DECKBLATT

	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UK	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N N	X A A X X	A X	N N N N N	N N
EU 309	9K	352126.39	-	EGA	EU	0002	00

Titel der Unterlage: Modellrechnungen mit dem Programm FEM 301 für ein alternatives geologisches/hydrogeologisches Modell  
3 Bände  
(Alle Bohrungen - 2 Bände, Schachtverschluß - 1 Band)

Seite: 1  
Stand: 17.08.89  
~~August 1989~~

Ersteller: Culenca AG  
Textnummer:

Stempelfeld:

PSP-Element Nr. 9K/2122421 zu Plan-Kapitel: 3.1.10.2 sowie 4.2

		PL  17/08/89 Freigabe für Bericht	PL  17/08/89 Freigabe im Projekt
--	--	--	---

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beforderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung der PTB.

# Revisionsblatt



	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
EU 309	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N N	N N
	9K	352126.39	-	EGA	ED	0002	00

Titel der Unterlage: Modellrechnungen mit dem Programm FEM 301 für ein alternatives geologisches Modell 3 Bände (Alte Bohrungen - 2 Bände, Schachtverschlus - 1 Band)	Seite: II. Stand: <del>17.08.89</del> August 1989
--	--

Rev.	Revisionsst. Datum	verant. Stelle	Gegenzeichn. Name	rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision

\*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur  
 Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung  
 Kategorie S = substantielle Änderung  
 Mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden.



Ein Unternehmen der Columbus System AG

CH-5401 BADEN/SCHWEIZ

## **SCHACHTANLAGE KONRAD, SALZGITTER**

**Modellrechnungen mit dem Programm FEM 301  
für ein alternatives  
geologisches/hydrogeologisches Modell  
Auftrags-Nr. 9K 352126.39**

## **AUSWIRKUNGEN DER BESTEHENDEN TIEFBOHRUNGEN Band I: Textteil**

17. August 1989



Der Bericht wurde im Auftrag der PHYSIKALISCH-TECHNISCHEN BUNDESANSTALT (PTB) erstellt. Die PTB behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung der PTB zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

INHALTSVERZEICHNIS

	<u>Seite</u>
1	EINLEITUNG, AUFGABENSTELLUNG . . . . . 1
2	MODELLIERUNG . . . . . 3
2.1	Bohrungen . . . . . 3
2.2	Schrägstellung . . . . . 3
2.3	Elementtypen . . . . . 4
2.4	Querschnitt der Bohrungen . . . . . 4
2.5	Hydraulische Durchlässigkeit der Bohrungen . . . . . 5
2.5.1	Rechenfall R08 . . . . . 5
2.5.2	Rechenfälle R10, R15-R17, R19, R29, R31, R32 . . . . . 5
2.5.3	Rechenfälle R30, R34, R35 . . . . . 6
2.6	Kluftzone oberhalb des Grubengebäudes . . . . . 7
2.7	Verbreitung des Hilssandsteines . . . . . 7
2.8	Fliesswegberechnung . . . . . 8
3	PARAMETER DER RECHENFÄLLE . . . . . 9
4	ERGEBNISSE DES REFERENZFALLES (R34) . . . . . 11
4.1	Potentiale . . . . . 11
4.2	Wasserflüsse . . . . . 12
4.2.1	Flüsse entlang Bohrungen . . . . . 13
4.2.2	Durchfluss durch das Grubengebäude . . . . . 13
4.3	Fliesswege . . . . . 14
4.3.1	Klassifizierung der Fliesswege . . . . . 14
4.3.2	Statistik der Fliesswege . . . . . 15
4.3.3	Diskussion der Fliesswege . . . . . 16
4.4	Abschätzung der Verdünnung . . . . . 18
5	EINFLUSS DER PARAMETERVARIATIONEN . . . . . 19
5.1	Flüsse entlang Bohrungen . . . . . 19
5.2	Durchfluss durch das Grubengebäude . . . . . 20
5.3	Fliesswege . . . . . 21
5.4	Abschätzung der Verdünnung . . . . . 25
5.4.1	Verdünnungsrechnung 1 . . . . . 25
5.4.2	Verdünnungsrechnung 2 . . . . . 27
6	SCHLUSSFOLGERUNGEN . . . . . 28
	LITERATURVERZEICHNIS . . . . . 30
	TABELLEN . . . . . 31
	ABBILDUNGEN . . . . . 32
	FARBIGE ABBILDUNGEN . . . . . 34

## EINLEITUNG, AUFGABENSTELLUNG

Im Bereich der Grube Konrad existieren Tiefbohrungen aus früheren Explorationstätigkeiten.

Dies wirft Fragen nach der Bedeutung dieser Bohrungen für die Langzeitsicherheit des geplanten Endlagers auf:

- Wie gross ist der Wasserfluss entlang der Bohrungen?
- Welcher Anteil des Endlagerdurchflusses gelangt zu den Bohrungen?
- Welches sind die Fliesszeiten vom Endlager zu den einzelnen Bohrungen?
- Wie gross ist der Anteil des Endlagerwassers am Gesamtfluss durch die Bohrungen?
- Welches sind die Freisetzungsraten längs der Bohrungen und die resultierenden Konzentrationen von Radionukliden in der Biosphäre?

Im Rahmen der Modellrechnungen mit dem Programm FEM301 für ein alternatives geologisches/hydrogeologisches Modell werden 12 Rechenfälle (R08, R10, R15-R17, R19, R29-R32, R34, R35) ausgeführt, bei denen 17 Bohrungen in der Umgebung Grube (Gebiet A, Abb. 1-1), im Gebiet Thiede (Gebiet B) und nördlich der Umgebung Grube (Gebiete C und D) berücksichtigt werden. Die Rechnungen schliessen an frühere Arbeiten mit dem Programm FEM301 für ein alternatives geologisches/hydrogeologisches Modell [1] an, mit welchen die Einflüsse von Störungen und Störzonen untersucht wurden.

Im vorliegenden Bericht werden die hydrogeologischen Aspekte der Modellrechnungen "Tiefbohrungen" diskutiert. Die Behandlung der Nuklidenausbreitung durch die Bohrungen erfolgt in einem separaten Bericht.

Die Berechnung der Trajektorien und der Wasserflüsse durch die Bohrungen zeigt, dass die Bohrungen bei realistischen Annahmen einen vernachlässigbaren Ausbreitungsweg darstellen.

Der vorliegende Bericht ist wie folgt aufgebaut. In Kapitel 2 wird das gewählte Vorgehen zur Modellierung der Tiefbohrungen und der dazu notwendige Ausbau des in [1] verwendeten und beschriebenen Modells erläutert. In Kapitel 3 wird eine Übersicht über die durchgeführten Rechenfälle und die gewählten Parameter gegeben. Die Ergebnisse für den Referenzfall "Tiefbohrungen", gegliedert nach den Einflüssen der Bohrungen auf das hydraulische Potential, die Wasserflüsse entlang den Bohrungen und durch das Endlager sowie den Verlauf von Fliesswegen, enthält Kapitel 4. In Kapitel 5 werden

Parametervariationen im Hinblick auf die sicherheitsrelevanten Auswirkungen von Tiefbohrungen untersucht. Der mögliche Anteil von Wasser aus dem Endlager im Durchfluss einzelner Bohrungen wird ebenfalls in Kapitel 5 abgeschätzt. Kapitel 6 fasst die wichtigsten Schlussfolgerungen zusammen.

## 2 MODELLIERUNG

Die Modellierung des hydraulischen Einflusses der bestehenden Tiefbohrungen erfolgt mit einer entsprechend ausgebauten Version des Modells, welches in [1] für die Untersuchung der Auswirkungen von Störungen und Störzonen verwendet wurde. Der Aufbau des Modells, die getroffenen Annahmen und Näherungen und insbesondere das Elementnetz sind in [1] ausführlich beschrieben. Der Ausbau des Modells für die Simulation der Tiefbohrungen erfordert lediglich den Einbau zusätzlicher 1D-Elemente, welche die Bohrungen darstellen. Die Geometrie des bestehenden Elementnetzes wird dabei nicht verändert, so dass ein Vergleich mit den in [1] beschriebenen Resultaten ohne Bohrungen zulässig ist.

## 2.1 Bohrungen

Im Untersuchungsgebiet ist eine grosse Anzahl von Tiefbohrungen abgeteuft worden (siehe [2], Anlage 3). Von diesen sind 17 Bohrungen in der Umgebung der Grube, im Gebiet Thiede und nördlich der Umgebung Grube zur Berücksichtigung im Modell ausgewählt worden. Es handelt sich um die Bohrungen Nr. 28, 30, 67, 70, 71, 79, 80, 81, 100, 106, 107, 111, 166, 183, 320, 321 und Konrad 101 (Numerierung gemäss [3], Bezeichnung und Lokalisierung der Bohrungen siehe Tab. 2-1 bzw. Abb. 2-1).

Die Bohrungen Vechelde (Nr. 106, 107 und 111) sind am Bohrpunkt der Bohrung 106 zusammengefasst, während die restlichen Bohrungen im Modell als Einzelbohrungen behandelt werden. Mit Ausnahme der Bohrungen Konrad 101, 67 und 71 entspricht die Lage der Bohrpunkte im Modell der tatsächlichen Lage. Die grösste Verschiebung zum wahren Bohrpunkt erfährt die Bohrung K101. Die Berücksichtigung ihrer genauen Lage würde mehrere zusätzliche Elementssäulen erfordern. Die Verschiebung der Bohrung K101 um etwa 350 m nach ENE wird als vertretbar erachtet, da sie dadurch zwar weiter vom Endlager entfernt ist, dann jedoch mit der Störzone des Konrad-Grabens in Verbindung steht. Die Bohrungen 71 (Bleckenstedt 3) und 67 (Bleckenstedt 1) erfahren eine Verschiebung von 200 m nach Norden bzw. NW. Da die Fließrichtung über dem südlichen Lagerabschnitt nach unten, über dem nördlichen Abschnitt dagegen eher nach oben gerichtet ist und da zudem die Potentialdifferenz zwischen Lager und Basis Unterkreide gegen Norden ansteigt, ist diese Verschiebung konservativ, da sie die Wahrscheinlichkeit für Fließwege durch diese Bohrungen erhöht.

## 2.2 Schrägstellung

Die Modellierung der geneigten Störzonen  $b_D$ ,  $b_T$ , c, d und a bringt eine Schrägstellung der in der näheren Umgebung dieser Zonen liegenden Elemente des Modellnetzes mit sich [1]. Im Bereich dieses Gebietes liegen die Bohrungen 28, 30, 67, 70, 71, 79, 80, 81, 320, 321 und K101 sowie die Schächte Konrad 1 und 2. Die Schrägstellung der Elementsäulen erfolgt meist ab der Basis Unterkreide, so dass auch die genannten Bohrungen und die Schächte in ihren tiefsten Abschnitten nicht senkrecht verlaufen.

Die Schrägstellung geschieht im Einzelnen ab folgenden Horizonten (Abb. 2-2 bis 2-14):

- ab Basis Unterkreide: Bohrungen 30, 70, 81, 320, 321 und K101
- ab Basis Oxford: Bohrung 67, Schacht Konrad 2
- ab Terrainoberfläche: Bohrungen 79 und 80

Diese Schrägstellung hat keinen Einfluss auf die Ergebnisse der hydraulischen Modellierung.

## 2.3 Elementtypen

Die Bohrungen sind im Modell durch insgesamt 100 vertikale oder annähernd vertikale 1D-Elemente dargestellt. Weitere 1D-Elemente werden zur Modellierung der Schächte Konrad 1 und Konrad 2 [4], sowie der Nordstrecke und der Doggerstrecke [1] verwendet.

## 2.4 Querschnitt der Bohrungen

In den Rechenfällen R08, R10 und R15 wird für alle Bohrungen der gleiche wirksame Querschnitt von  $0,1 \text{ m}^2$  angenommen. Für die Bohrgruppe von Vechelde wird demgemäß mit einem Querschnitt von  $0,3 \text{ m}^2$  gerechnet.

Da der Wasserfluss entlang den Bohrungen praktisch linear vom Bohrlochquerschnitt abhängt, erscheint die genauere Berücksichtigung des wirklichen Bohrlochquerschnittes, wie er aus den Bohrdaten und den Kalibermessungen hervorgeht, als wünschenswert. Den Rechenfällen R16 ff. werden daher die effektiven Bohrlochquerschnitte zugrundegelegt [5]. Die Modellquerschnitte der oberen (unversetzten, siehe Abschnitt 2.5) Bohrlochabschnitte entsprechen den an der Basis der Unterkreide gemessenen Werten, während für die unteren (versetzten) Abschnitte ein Durchmesser von 6,625 Zoll angenommen wird [3]. Die Werte für die einzelnen Bohrungen sind in den Tab. 2-1 und 3-1 zusammengestellt.



## 2.5 Hydraulische Durchlässigkeit der Bohrungen

Die zur Verfüllung der Bohrungen verwendete Dickspülung sedimentiert im Laufe der Zeit. Untersuchungen haben ergeben, dass die Sedimentationshöhe 44 % der Bohrloch-tiefe beträgt und der Versatz einen Durchlässigkeits-beiwert von  $2 \cdot 10^{-8}$  m/s aufweist [3]. Zusätzlich wurden bei der Verfüllung Zementbrücken vor der vollständigen Absetzung der Dickspülung auf verschiedenen Horizonten eingebracht. Nach Absetzung der Dickspülung präsen-tiert sich damit das Bohrloch als Abfolge von unver-setzten und versetzten Abschnitten. Die Letzteren sind jeweils nach unten durch Zementbrücken abgeschlossen. Die mittlere hydraulische Durchlässigkeit eines solchen Systems beträgt damit in axialer Richtung rund  $4 \cdot 10^{-8}$  m/s. In den meisten Bohrungen, insbesondere auch in der Bohrung Bleckenstedt 1, liegt eine Zement-brücke im Alb [3], so dass der oben angegebene mittlere Durchlässigkeitsbeiwert auch für den Bohrlochabschnitt in den wasserstauenden Deckschichten Gültigkeit hat. Konservativ wird aber nicht auf die Standfestigkeit der Zementbrücken abgestellt, sondern angenommen, dass die untersten 44 % des Bohrlochs durch Sedimen-tation versetzt sind, während die oberen 56 % als durchgehend unversetzt betrachtet werden und einen höheren  $k_f$ -Wert besitzen.

### 2.5.1 Rechenfall R08

Im Rechenfall R08 werden die unversetzten und ver-setzten Abschnitte nicht unterschieden. Als Durchläs-sigkeit wird ein einheitlicher Wert von  $10^{-4}$  m/s an-genommen.

### 2.5.2 Rechenfälle R10, R15-R17, R19, R29, R31, R32

In den Rechenfällen R10, R15-R17, R19, R29, R31 und R32 wird von der Annahme ausgegangen, dass die Bohrun-gen aus zwei Abschnitten stark unterschiedlicher Durch-lässigkeit bestehen. Durch das Absetzen der Bohrspülung ist der untere Teil der Bohrungen auf einer Höhe von 44 % der Gesamtlänge versetzt, während die darüber liegenden restlichen 56 % der jeweiligen Bohrteufe als unversetzt betrachtet werden. Diese Unterteilung der Bohrungen wird in der Modellierung durch die Zuord-nung unterschiedlicher Durchlässigkeitsbeiwerte nach-vollzogen.

Die Tiefenlage der Obergrenze des Versatzes wird der Zusammenstellung in [3] entnommen. Im Modell muss jedoch die Grenze zwischen den beiden Durchlässig-keitsklassen mit einer Elementgrenze zusammenfallen. Liegt die Obergrenze des Versatzes in einem Wasser-leiter, so wird sie im Modell in der Regel an dessen

Basis verlegt. Liegt die Grenze jedoch in einem Wasserstauer, so wird sie im Modell, sofern topologisch möglich, in die Mitte der Schicht, andernfalls an deren Obergrenze geschoben. Dabei werden lediglich die Unterkreide (kru) und das Alb als Wasserstauer, das Oxford und der Kimmeridge jedoch als Wasserleiter betrachtet. In einigen Fällen, wo der Versatz nur wenige Meter über die Basis eines Wasserstauers reicht, erfolgt die Verschiebung konservativ nach unten.

Im Rechenfall R10 fallen die Versatzgrenzen der Bohrungen 81 und 183 mit der Basis der Unterkreide zusammen (Abb. 2-12 und 2-14). In den nachfolgenden Rechenfällen liegt die Versatzgrenze entsprechend den obigen Kriterien durchwegs an der Obergrenze der Unterkreide (Abb. 2-7) bzw. an der Basis des Kimmeridge (Abb. 2-9).

Die Lage der Obergrenze des Versatzes und deren Berücksichtigung im Modell geht für die angeführten Rechenfälle aus Tab. 2-1 hervor. Sie ist überdies in den Abb. 2-2 bis 2-11 dargestellt.

Die vollständig mit Tiefbohrzement versetzte Bohrung K101 stellt einen Spezialfall dar. Ihre Modellierung erfolgt in den Rechenfällen R08 und R10 wie jene der übrigen Bohrungen (siehe Abb. 2-13). In den Rechenfällen R15 ff. wird für die Durchlässigkeit  $k_f$  der Zementfüllung ein Wert von  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s angenommen.

### 2.5.3 Rechenfälle R30, R34, R35

Es wird angenommen, dass die Durchlässigkeit auch in unversetzten Abschnitten in den stark tonhaltigen Gesteinen der Unterkreide und des Alb durch Gebirgskonvergenz, partiellen Einbruch der Bohrlochwände und Quellvorgänge in den aufgelockerten, ehemals hochkompakten Tonen reduziert ist.

In den Rechenfällen R30, R34 und R35 wird aus diesem Grund die Modellierung der Bohrungen weiter verfeinert, indem die unversetzten Bohrlochabschnitte nochmals unterteilt werden. Der tiefere, im Alb und darunter gelegene unversetzte Teilabschnitt wird jeweils als weniger durchlässig angenommen als jener in der Oberkreide und im Quartär.

Die Modellierung der Bohrungen unterscheidet also in diesen drei Rechenfällen vier Durchlässigkeitsklassen:

- unversetzt
  - durchlässig (oberhalb Obergrenze Alb)
  - weniger durchlässig (unterhalb Obergrenze Alb)
- versetzt durch Sedimentation der Dickspülung
- verfüllt mit Zement (Bohrung K101)

## 2.6 Kluffzone oberhalb des Grubengebäudes

Durch langfristige Setzungserscheinungen könnte im Hangenden des Grubengebäudes eine Auflockerungszone entstehen, welche sich vor allem in einer Öffnung bereits bestehender oder vorgezeichneter Klüfte ausserert. Dieser Möglichkeit wird in den Rechenfällen R29, R30 und R32 Rechnung getragen, indem dem Bereich des Oxford und Kimmeridge oberhalb des Grubengebäudes eine erhöhte Durchlässigkeit von  $10^{-3}$  m/s zugewiesen wird.

Dieser Wert entspricht etwa der Durchlässigkeit eines Parallelkluffsystems mit einem Kluffabstand von 1 m und einer Kluffweite von 1 mm. Nach der Formel von Hagen-Poiseuille [6] (parallel plate model)

$$k_f = \frac{g \cdot b^3 \cdot N}{12 \cdot \nu} \quad (1)$$

mit	$N = 1 \text{ m}$	Klufffrequenz
	$b = 1 \text{ mm}$	Kluffweite
	$\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	kinematische Viskosität
	$g = 9,8 \text{ m/s}^2$	Gravitationskonstante

ergibt sich mit den angeführten Werten ein Durchlässigkeitsbeiwert von  $8 \cdot 10^{-4}$  m/s. Die Gleichung berücksichtigt allerdings nicht den Einfluss der Variabilität der Kluffweite. Nach [9] betragen die mittleren Kluff- und Schichtflächenabstände im Oxford bzw. Kimmeridge ca. 4m bzw. 2m.

## 2.7 Verbreitung des Hilssandsteines

Der Hilssandstein hat einen grossen hydraulischem Einfluss, da er ein höheres Potential aufweist als der tieferliegende Wasserleiter Kimmeridge-Oxford (siehe [1] und Abschnitt 4.1). Den Hilssandstein durchquerende Bohrungen ermöglichen deshalb nach unten gerichtete Flüsse durch den StauhORIZONT der Unterkreide. Das Schichtpaket Kimmeridge-Oxford weist andererseits ein höheres Potential auf als die Oberkreide und das Quartär. Nördlich des Ausbreitungsgebietes des Hilssandsteins sind daher in Bohrungen, deren Endpunkt unterhalb der Basis der Unterkreide liegt, aufwärtsgerichtete Flüsse möglich.

Die nördliche Verbreitungsgrenze des Hilssandsteins verläuft im Gebiet der Grube Konrad. Die Bohrungen 28, 321 und 80 liegen etwas nördlich dieser Begrenzung. Aus topologischen Gründen müssen sie im Modell in die Kanten von Elementsäulen gelegt werden. Da die Nordgrenze des Hilssandsteins und die Lage der erwähnten Bohrungen praktisch zusammenfallen, befinden sich im

Modell die Bohrungen an der Verbreitungsgrenze des Wasserleiters, der an den von diesen Bohrungen benützten Elementkanten topologisch auskeilt. Die Bohrungen 28, 80 und 321 sind daher in den Rechenfällen R08 und R10 mit dem Hilssandstein hydraulisch verbunden, obwohl er in diesen Bohrungen nach [7] fehlt. In den Rechenfällen R15 ff. ist die hydraulische Verbindung der Bohrungen 28, 80 und 321 zum Hilssandstein unterbrochen. Dies erfolgt durch Definition zusätzlicher Knoten im Elementnetz, welche mit den 1D-Elementen der Bohrung, jedoch nicht mit den 3D-Elementen des Hilssandsteins in Verbindung stehen. Dies entspricht einer im Bereich des Wasserleiters verrohrten Bohrung (Abb. 2-6, 2-7, 2-10).

## 2.8 Fließwegberechnung

Zur Beurteilung der hydraulischen Auswirkungen der Tiefbohrungen in Bezug auf die Langzeitsicherheit des geplanten Endlagers sind folgende Fragen von Bedeutung:

- Fließt Wasser aus dem Endlager in Bohrungen?
- Welche Bohrungen sind betroffen?
- Welches sind die Fließzeiten zu den Bohrungen?
- Wie gross ist der Anteil Endlagerwasser am Bohrlochdurchfluss (Verdünnung)

Um diese Fragen zu beantworten werden mit dem Programm TRACK [1] pro Rechenfall 387 Fließwege berechnet. Die Startpunkte sind so festgelegt, dass jeder Fließweg einen ungefähr gleich grossen Anteil des Grubeninhaltes repräsentiert. Sie sind auf drei Flächen angeordnet, wobei die obere ca. 5 m unterhalb der Grubendeckfläche, die untere im gleichen Abstand oberhalb der Grubenbodenfläche liegt. Die mittlere Fläche verläuft genau dazwischen. Jeder Fließweg wird durch die Fläche und eine Kennnummer (Abb. 2-15) definiert.

Da im vorliegenden Bericht nur die Fließwege zu Bohrungen von Interesse sind, erfolgt die Trajektorienberechnung in einem reduzierten Modellgebiet. Dieses umfasst sämtliche modellierten Bohrungen, das Grubengebäude sowie eine zusätzliche Reihe von Elementssäulen. Die Potentiale in allen Knoten werden jedoch durchwegs mit dem Gesamtmodell [1] berechnet.

## PARAMETER DER RECHENFÄLLE

Die in den verschiedenen Rechenfällen verwendeten Parameter (hydraulische Durchlässigkeiten der Bohrungen, Bohrquerschnitte und Transmissivitäten) sowie die im Modell definierten K-Klassen sind in Tab. 3-1 zusammengestellt. Als Basis dient dabei der in [1] ausführlich diskutierte Referenzfall R01.

Eine zusammenfassende Charakterisierung der betrachteten Rechenfälle enthält Tab. 3-2. Diese ist zusammen mit einer schematischen Übersicht der modellierten Bohrungen (Abb. 2-16) zusätzlich am Schluss des vorliegenden Textbandes in einem Faltblatt angegeben.

Den drei Teilabschnitten der Bohrungen werden in den Rechenfällen R08 ein einziger  $k_f$ -Wert, in den Rechenfällen R10, R15, R16, R17, R19, R29, R31 und R32 zwei und in den Rechenfällen R30, R34 und R35 drei  $k_f$ -Werte zugeordnet. Ab Rechenfall R15 weist die Bohrung K101 über die ganze Länge einen einheitlichen  $k_f$ -Wert von  $10^{-8}$  m/s auf.

Die gegenüber [1] um die zusätzlichen Strukturen (Bohrungen) erweiterte Modellierung erfordert die Definition eines neuen Referenzfalles. Diesen Referenzfall "Tiefbohrungen" bildet R34. Der Fall R35 stellt den Referenzfall "Schachtverschluss" dar [4], welcher hier als Variante zu R34 diskutiert wird.

Die Rechenfälle können in folgende vier Gruppen eingeteilt werden:

- geometrische und topologische Verfeinerung der Modellierung (R08, R10, R15, R16)
- Referenzfälle "Tiefbohrungen" und "Schachtverschluss" (R34, R35)
- Variation des  $k_f$ -Wertes im unversetzten Bohrlochabschnitt (R16, R17, R19, R31)
- Einführung einer hochdurchlässigen Kluftzone oberhalb des Grubengebäudes (R29, R30, R32)

Der  $k_f$ -Wert der unversetzten Bohrlochabschnitte in den Deckschichten Unterkreide (kru) und Alb beeinflusst die Resultate weitaus am stärksten.

Für den Referenzfall wird hier ein konservativer (d.h. ungünstiger), jedoch kein zu unrealistischer Wert gewählt. Wie im Abschnitt 2.5 dargelegt, wird konservativ angenommen, dass sich die sedimentierten Feststoffe aus der Dickspülung im Laufe der Zeit aus den von den Zementbrücken vorgegebenen Lagen - so auch

aus dem Alb - nach unten bewegen und die untersten 44 % der Bohrlochteufe versetzen. Diese Abwärtsbewegung ist bei einer weitestgehenden Auflösung oder Fragmentierung der Zementbrücken möglich. Die hydraulische Durchlässigkeit von unversetzten Bohrlochabschnitten in der Unterkreide und im Alb wird durch Gebirgskonvergenz, Einbruch der Bohrlochwand und Quellen der aufgelockerten, ehemals hochkompakten Tone begrenzt. Gemittelt über den ursprünglichen Bohrlochdurchmesser wird für den  $k_f$ -Wert in diesem Bereich  $10^{-5}$  m/s angenommen. Dieser Wert entspricht der Durchlässigkeit von feinem bis schluffigem Sand bzw. einem durchlässigen Lockergestein (bei einer Einteilung in stark durchlässige, durchlässige, gering durchlässige und sehr gering durchlässige Lockergesteine, gemäss DIN 18 130).

## 4 ERGEBNISSE DES REFERENZFALLES (R34)

## 4.1 Potentiale

Die Bohrungen beeinflussen die Potentialverteilung, indem Wasser von Zonen höheren Potentials durch die Bohrungen zu Schichten geringeren Potentials abfließt. Meistens erfolgt dieser Wasserfluss aufwärts, die Flüsse in den Bohrungen haben also generell eine Erniedrigung des Potentials in den tieferen Wasserleitern zur Folge. Im Prinzip könnten in Wasserleitern, welche nicht direkt an Infiltrationszonen angebunden sind und welche über Bohrungen mit dem Hilssandstein in Verbindung stehen, auch Potentialerhöhungen stattfinden. Der dominierende Effekt ist jedoch eine Potentialerniedrigung der Wasserleiter.

Die Potentialverteilung für den Referenzfall Tiefbohrungen R34 ist in den Abb. A-1 bis A-8 dargestellt. Die Potentiale im vergleichbaren Referenzfall R01 des Störzonenmodells (ohne Tiefbohrungen) sind in [1] beschrieben.

Einen ersten Überblick über die Beeinflussung der Potentiale durch die Bohrungen geben bereits die Bereiche der Potentialdifferenzen zum Rechenfall R01 für die einzelnen Schichten. Der Einfluss des Durchlässigkeitsbeiwertes der unversetzten Bohrlochabschnitte zeigt sich durch den Vergleich mit den zusätzlich aufgeführten Werten für den Rechenfall R16:

	R34-R01 [m]	R16-R01 [m]
Unterkreide <sup>1)</sup>	-0,26 bis +0,04	-2,5 bis +0,1
Oxford	-0,16 bis 0,0	-1,9 bis 0,0
Cornbrash	-0,11 bis 0,0	-1,25 bis 0,0
Rhät	-0,03 bis +0,01	-0,48 bis 0,0
Ob.Muschelkalk	-0,01 bis 0,0	-0,14 bis 0,0

1) Basis Unterkreide

Die Erhöhung der Bohrlochtransmissivität um zwei Größenordnungen bewirkt also einen Anstieg der Potentialdifferenzen um rund eine Größenordnung. In den Anhängen A-11 bis A-13 ist die räumliche Verteilung der Potentialdifferenzen auf den Basisflächen der Oberkreide, der Unterkreide und des Oxford dargestellt. Die Anhänge A-9 und A-10 zeigen die Potentialdifferenzen entlang dem Süd-Nord verlaufenden Schnitt 8-9 und dem West-Ost verlaufenden Schnitt 507. Der Verlauf der beiden Schnitte geht aus Abb. 2-1 hervor.

Es besteht ein scharfer Kontrast zwischen dem versetzten Abschnitt (Durchlässigkeitsbeiwert  $2 \cdot 10^{-8}$  m/s) und der um drei Grössenordnungen höheren Durchlässigkeit der unversetzten Abschnitte in den Wasserstauern ( $1 \cdot 10^{-5}$  m/s in Alb und Unterkreide). Die Resultate zeigen, dass sich die Beeinflussung im wesentlichen auf jene Horizonte beschränkt, welche von unversetzten Bohrabschnitten durchfahren werden. Dies ist verständlich, da deren vertikale hydraulische Transmissivität im Referenzfall R34 die gleiche ist wie jene einer Deckgebirgssäule mit einem Querschnitt von rund  $10^5$  m<sup>2</sup> (bei einem  $k_f$ -Wert von  $10^{-11}$  m/s). Die Transmissivität der versetzten Bohrlochabschnitte entspricht dagegen nur einer Deckgebirgssäule von etwa  $100$  m<sup>2</sup> Querschnitt.

Der Einfluss der Tiefbohrungen auf die Langzeitsicherheit des geplanten Endlagers kann durch

- eine Veränderung der Potentialwerte
- eine Veränderung des Grubendurchflusses
- ihre Rolle als Freisetzungspfad

erfolgen. Sie können nach ihrer Lage in zwei Gruppen eingeteilt werden, jene im Zufluss- und jene im Abflussbereich des Endlagers. Die Bohrungen im Zuflussbereich stehen meistens in hydraulischem Kontakt mit dem Hilssandstein und bewirken entsprechend ihrer Durchlässigkeit in der Unterkreide eine Erhöhung des Potentials und des Durchflusses durch die Grube. Diese Bohrungen bilden unter keinen Umständen einen Freisetzungspfad für Radionuklide. Die Bohrungen im Abflussbereich dagegen verursachen ein Absinken des Potentials. Sie erhöhen ebenfalls den Grubendurchfluss und stellen einen potentiellen Freisetzungspfad dar.

Die Bohrungen im Abflussbereich beeinflussen das Potential stärker als jene im Zuflussbereich. Insgesamt verändern sie das Potential aber nur wenig.

#### 4.2 Wasserflüsse

Die Bohrungen bewirken im Prinzip eine Erhöhung des gesamten Wasserumsatzes im Oxford und insbesondere des Grubendurchflusses:

- Bohrungen im Verbreitungsgebiet des Hilssandsteins erhöhen den Zufluss zum Oxford
- Im Abstromgebiet findet entlang den Bohrungen ein Abfluss von Wasser aus dem Oxford in die Oberkreide statt.



#### 4.2.1 Flüsse entlang Bohrungen

In der Tab. 4-1 sind die Flüsse entlang den Bohrungen zusammengestellt. Die Werte gelten jeweils für die Mitte der Schichteinheiten, wobei positive Zahlen aufwärtsgerichteten, negative abwärtsgerichteten Flüssen entsprechen.

Die Flüsse hängen erwartungsgemäss stark von den Transmissivitätswerten in den einzelnen Schichten ab. Im Alb, wo mit Ausnahme der Bohrung Bleckenstedt 2 alle Bohrungen unversetzt sind, sind die Wasserflüsse durchwegs nach oben gerichtet und liegen im Bereich von  $1 \text{ m}^3/\text{a}$ . Eine Ausnahme bildet die Bohrgruppe Vechelde. Sie weist einen grossen effektiven Bohrquerschnitt auf und liegt im Bereich geringer Albmächtigkeit, was einen überdurchschnittlich hohen Vertikalgradienten verursacht.

In der Unterkreide (kru) streuen die Wasserflüsse in den unversetzten Bohrabschnitten um den Wert von  $0,1 \text{ m}^3/\text{a}$ , während sie in den versetzten Abschnitten um mehrere Grössenordnungen geringer sind. Die Richtung des Wasserflusses wird durch die relative Lage zum Hilssandstein bestimmt.

Insgesamt beträgt der Zufluss entlang aller Bohrungen in die Schichten Oxford und Kimmeridge rund  $0,6 \text{ m}^3/\text{a}$ , der Abfluss rund  $2,2 \text{ m}^3/\text{a}$ . Diese Werte ergeben sich durch Summation aller gleichgerichteten Flüsse in der Unterkreide in Tab. 4-1. Sie sind gering im Vergleich zum gesamten, Süd-Nord gerichteten Wasserfluss von etwa  $4000 \text{ m}^3/\text{a}$  in den Schichten Oxford und Kimmeridge im Bereich des Endlagers.

#### 4.2.2 Durchfluss durch das Grubengebäude

Der Grubendurchfluss im Referenzfall beträgt  $625 \text{ m}^3/\text{a}$  oder  $1,2 \text{ l}/\text{min}$ .

In Tab. 4-2 ist der Durchfluss durch das Grubengebäude für alle Rechenfälle zusammengestellt. Der Grubendurchfluss ergibt sich durch die Integration der aus dem Oxford ins Grubengebäude eintretenden bzw. aus dem Grubengebäude ins Oxford austretenden Wasserflüsse und die Berücksichtigung der Zu- und Abflüsse durch die 1D-Elemente der Nord- und Doggerstrecke [1]. Die dabei auftretenden Differenzen in der Flussbilanz bilden die Grundlage für das in der Tab. 4-2 angegebene Fehlermass:

$$\text{Fehler} = \frac{|Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}}|}{Q_{\text{in}} + Q_{\text{out}}} \quad (2)$$

( $Q_{\text{in}}$  = totaler Zufluss,  $Q_{\text{out}}$  = totaler Abfluss)

Überdurchschnittlich grosse Fehler ergeben sich in den Fällen R29 bis R32. Diese Fälle zeichnen sich dadurch aus, dass die Schichten Oxford und Kimmeridge oberhalb des Grubengebäudes (Kluftzone) und/oder die unversetzten Bohrlochabschnitte extrem durchlässig sind. Die Kluftzone oberhalb des Grubengebäudes bewirkt eine starke Verringerung des ohnehin kleinen Gradienten im gesamten Bereich um das Grubengebäude und eine Verkleinerung des Fliesswinkels zum Grubengebäude. Beides erschwert die Berechnung des Flusses durch die Oberfläche des Grubengebäudes. In den Fällen R31 und R32 erzeugen die hoch durchlässigen Bohrungen stark variable Gradienten, was die numerische Integration der Wasserflüsse über die relativ grossen 2D-Elemente der Grubenoberfläche verfälscht. Im Fall R32 kumulieren sich die beschriebenen Effekte.

Der Grubendurchfluss im Referenzfall "Tiefbohrungen" R34 ist innerhalb der Rechengenauigkeit gleich gross wie der Durchfluss im vergleichbaren Rechenfall ohne Tiefbohrungen R01. Dies bedeutet, dass Bohrungen mit der angenommenen Transmissivität keinen merklichen Einfluss auf den Grubendurchfluss haben. Der Einfluss bei veränderten Bohrlochtransmissivitäten wird im Abschnitt 5.2 diskutiert.

#### 4.3 Fliesswege

Im Referenzfall R34 verlaufen nur zwei Fliesswege durch Bohrungen (Tab.4-3). Beide führen zur Bohrung Sauringen 1, welche bis in die Mitte der Unterkreide versetzt ist. Die Trajektorien treten in einem Horizontalabstand zur Bohrung von gut 300 m in die Unterkreide ein, durchqueren zunächst steil den untersten Teil dieses Wasserstauers und führen anschliessend fast horizontal zum Fusspunkt des unversetzten Abschnittes der Bohrung (Abb. A-14 bis A-16). Die Laufzeit für den ersten Teil dieses Weges beträgt rund 2 Mio. Jahre, jene für den zweiten 15 Mio. Jahre. Der Verlauf sämtlicher Fliesswege, aufgeteilt nach Startpunktf lächen, ist im Grundriss in den Abbildung A-17 bis A-19 dargestellt.

Um einen Vergleich mit anderen Rechenfällen zu ermöglichen, wird eine statistische Auswertung der Fliesswege durchgeführt.

##### 4.3.1 Klassifizierung der Fliesswege

Sämtliche 387 Fliesswege werden nach ihrem Verlauf in verschiedene Klassen eingeteilt. Gruppe A umfasst alle Fliesswege, welche durch den Rand des reduzierten Modells austreten ohne eine Bohrung zu berühren. Die Gruppe B umfasst alle Fliesswege, welche in eine Bohrung führen. In der Gruppe C sind alle übrigen Fliesswege zusammengefasst.

Alle Fliesswege der Gruppe C brechen aus numerischen Gründen innerhalb des Modells ab, wobei die Werte für Weg und Zeit bis in die Nähe des Abbruchpunktes belastbare Daten darstellen [1]. Diese Gruppe wird weiter unterteilt, um potentiell durch Bohrungen verlaufende Fliesswege auszuschneiden:

- Fliesswege mit Laufzeiten über 1 Mio. Jahre und/oder Abbruchpunkte im Dogger, Cornbrash oder Lias stellen keinen sicherheitsrelevanten Freisetzungspfad dar.
- Fliesswege mit Laufzeiten von weniger als 1 Mio. Jahre, welche das Grubengebäude nach oben oder seitlich verlassen, müssen als potentielle Freisetzungspfade längs Bohrungen interpretiert werden.
- Fliesswege mit Laufzeiten von weniger als 1 Mio. Jahre, welche das Grubengebäude nach unten verlassen, führen nur in Extremfällen zu Bohrungen: In allen Rechenfällen ausser jenen mit hochdurchlässigen unversetzten Bohrlochabschnitten (R31 und R32) verlassen alle Fliesswege, welche nachweisbar zu Bohrungen führen, das Grubengebäude über die oberen und seitlichen Grenzflächen (Abb. 4-1). Diese Aussage stützt sich auf die Auswertung der über 150 Fliesswege der Gruppe B in insgesamt 9 Rechenfällen. Sie gilt damit auch bei einer Bohrlochtransmissivität, welche wie im Fall R10 rund dreihundertmal höher ist als im Referenzfall. Einzig in den Rechenfällen R31 und R32, in denen die Bohrlochtransmissivität in den unversetzten Abschnitten den Wert des Referenzfalles um fünf Grössenordnungen übersteigt, genügt die Attraktorwirkung der Bohrungen, um Fliesswege aus dem Liegenden des Grubengebäudes anzuziehen.
- Fliesswege, welche bereits innerhalb des Grubengebäudes abbrechen, können nur auf Grund des Verlaufs benachbarter Fliesswege beurteilt werden.

#### 4.3.2 Statistik der Fliesswege

Von den 387 berechneten Fliesswegen gehören im Referenzfall 201 der Gruppe A, 2 der Gruppe B und 184 der Gruppe C an.

Die Fliesswege der Gruppe C unterteilen sich wie folgt:

- 71 Fliesswege besitzen eine Laufzeit von über 1 Mio. Jahre und/oder enden in den Schichten unterhalb des Oxford.
- Kein Fliessweg verlässt das Grubengebäude ins Hangende oder seitlich

- 97 Fliesswege verlassen das Grubengebäude ins Liegende.
- 16 Fliesswege verlassen das Grubengebäude nicht.

Die räumliche Verteilung der Startpunkte der verschiedenen Fliessweggruppen ist in der Abb. 4-2 dargestellt. Aufgrund dieser Verteilung und in den in Abschnitt 4.3.1 aufgeführten Kriterien kann geschlossen werden, dass kein Fliessweg der Gruppe C zu einer Bohrung führen kann.

#### 4.3.3 Diskussion der Fliesswege

Die geringe Zahl der Fliesswege zu den Bohrungen erklärt sich einerseits durch die geringe hydraulische Reichweite der Bohrungen, andererseits durch die Potentialverteilung in der Umgebung des Lagers.

Eine grobe Abschätzung der Reichweite lässt sich folgendermassen vornehmen:

Der Fluss  $Q_1$  in einer Bohrung, deren unversetzter Abschnitt bis zur Basis Unterkreide reicht, beträgt

$$Q_1 = I_B \cdot k_{fB} \cdot F \quad (3)$$

mit  $I_B$  = Gradient entlang der Bohrung  
 $k_{fB}$  = Durchlässigkeitsbeiwert der Bohrung im unversetzten Bereich  
 $F$  = Querschnitt der Bohrung

Der Zufluss  $Q_2$  zur Bohrung im Kimmeridge erfolgt durch eine Halbkugel um den Fusspunkt des unversetzten Abschnittes und ist

$$Q_2 = 2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot I(r) \cdot k_{fj0} \quad (4)$$

mit  $r$  = Radius der Halbkugel  
 $I(r)$  = Gradient im Abstand  $r$   
 $k_{fj0}$  = Durchlässigkeitsbeiwert des Kimmeridge

Gleichsetzen der beiden Flüsse  $Q_1$  und  $Q_2$  ergibt

$$r^2 = \frac{I_B \cdot k_{fB} \cdot F}{2 \cdot \pi \cdot I(r) \cdot k_{fj0}} \quad (5)$$

Falls die Reichweite der Bohrung durch die Bedingung definiert wird, dass der induzierte hydraulische Gradient des Absenktrichters um die Bohrung gleich gross ist wie der regionale Gradient im Wasserleiter (Kimmeridge), ergibt sich mit

$$\left. \begin{array}{l} F = 0,03 \text{ m}^2 \\ I_B = 0,1 \text{ m/m} \\ I(r) = 10^{-3} \text{ m/m} \end{array} \right\} \text{ typische Werte}$$

$$r \approx 1 \text{ m} \cdot \sqrt{\frac{k_{fB}}{2 \cdot k_{fj0}}} \quad (6)$$

Bei einer Durchlässigkeit des Kimmeridge von  $5 \cdot 10^{-9}$  m/s ergeben sich folgende Reichweiten:

$k_{fB}$	r
$10^{-3}$	300 m
$10^{-5}$	30 m
$10^{-8}$	1 m

Eine Bohrung mit einer Durchlässigkeit von  $10^{-3}$  m/s besitzt damit ein Einflussgebiet mit einem Radius von ungefähr 300 m, was mit der Mächtigkeit des Kimmeridge vergleichbar ist. Bei einer Durchlässigkeit von  $10^{-5}$  m/s muss sich ein Fließweg einer Bohrung auf ca. 30 m nähern, um in ihren Einflussbereich zu gelangen.

Die Potentialverteilung erklärt im vorliegenden Fall, weshalb die Bohrung Bleckenstedt 1 als Freisetzungspfad äussert unwahrscheinlich ist. Das Potential in der Bohrung an der Basis der Unterkreide ist höher als in jenen Bereichen des Endlayers, aus denen Wasser ins Oxford austritt.

Die übrigen, im Abstrombereich in unmittelbarer Gruben- umgebung liegenden Bohrungen kommen aus folgenden Gründen als sicherheitsrelevante Freisetzungspfade nicht in Betracht:

- In der Bohrung Hüttenberg 1 (B321) verursacht die Nähe des Hilssandsteins einen abwärtsgerichteten Fluss in der Unterkreide.
- Die Bohrungen Sauingen 1 und 2 (B30 bzw. B320) sowie Üfingen 2 sind im unteren Teil der Unterkreide versetzt, weisen deshalb äusserst geringe Wasserflüsse und im versetzten Bereich einen extrem kleinen Einflussbereich auf.
- Die Bohrungen Alvesse 1 (B183) und Üfingen 1 (B100) sind an der Basis Unterkreide unversetzt. Die Fließzeiten bis in die Nähe der beiden Bohrungen betragen über  $4 \cdot 10^5$  Jahre.

Bohrungen wie Sauingen 1, welche nur im oberen Teil der Deckschichten unversetzt sind, weisen dort niedrigere Potentiale auf als das umgebende Gestein und bilden deshalb relativ starke Attraktoren. Durch diesen Effekt können die beiden Fliesswege der Gruppe B erklärt werden. Im vorliegenden Fall R34 ist diese Absenkung jedoch relativ gering, so dass der vertikale hydraulische Gradient im unteren Teil der Unterkreide gegenüber den durch Bohrungen nicht gestörten Verhältnissen nur wenig ansteigt. In anderen Rechenfällen, in denen die Durchlässigkeit der unversetzten Bohrlochabschnitte höher ist, ist die Potentialabsenkung wesentlich ausgeprägter, der hydraulische Gradient im unteren Teil der Unterkreide grösser und die Fliesszeiten zu Bohrung Sauingen 1 entsprechend kürzer.

Die Flüsse durch die Bohrungen Alvesse 1 und Üfingen 1 werden aus dem Kimmeridge gespeist, welches dort eine Mächtigkeit von über 400 m aufweist. Da die Reichweiten der Absenktrichter im Vergleich dazu klein sind, können nur Trajektorien aus dem Kimmeridge in die Bohrungen abgelenkt werden. Die kürzeste Laufzeit aller Trajektorien, welche auf der Höhe der Bohrungen im Kimmeridge verlaufen, beträgt dort 400 000 Jahre. Kürzere Laufzeiten weisen nur Fliesswege auf, welche durchwegs im Oxford oder in der rändlichen Störzone des Salzstockes Broistedt-Wendeburg-Rolfsbüttel verlaufen. In den Rechenfällen mit höherer Durchlässigkeit in den unversetzten Bohrlochabschnitten beträgt die minimale Laufzeit zu einer der beiden Bohrungen 440 000 Jahre (R10, B183), die häufigsten Werte übersteigen aber 1 Mio. Jahre.

Aus den oben genannten Gründen kann geschlossen werden dass im Referenzfall Tiefbohrungen (R34) keine Fliesswege mit kurzen Laufzeiten zu Bohrungen führen und dass nur ein sehr geringer Teil des geplanten Endlagers durch Bohrungen entwässert wird.

#### 4.4 Abschätzung der Verdünnung

Um den Anteil Grubenwasser am Bohrlochdurchfluss und damit die Verdünnung abzuschätzen, werden mit zwei verschiedenen Methoden Verdünnungsrechnungen durchgeführt. Da diese Rechnungen nur im Vergleich mit anderen Rechenfällen aussagekräftig sind, werden sie erst nach Diskussion der Parametervariationen im Abschnitt 5.4 behandelt.

## 5 EINFLUSS DER PARAMETERVARIATIONEN

## 5.1 Flüsse entlang Bohrungen

Von besonderem Interesse sind die Flüsse entlang den Bohrungen in den beiden Deckschichten Unterkreide (kru) und Alb. Wie im Abschnitt 5.2 anhand des Grubendurchflusses gezeigt wird, haben diese Grössen einen direkten, wenn auch meistens beschränkten Einfluss auf das Fließsystem im Oxford. Die Wasserflüsse entlang allen Bohrungen für den Referenzfall R34 und die Fälle R16 und R29 sind in den Tab. 4-1, 5-1 und 5-2 zusammengestellt.

Da die Bohrung Bleckenstedt 1 für die Nuklidausbreitung potentiell wichtig ist (kürzeste Laufzeit im Fall R16) und in der Bohrung Üfingen 1 in verschiedenen Rechenfällen eine grössere Zahl von Fließwegen endet, werden die Auswirkungen der Parametervariation hauptsächlich am Beispiel dieser beiden Bohrungen besprochen. Die Flüsse entlang den Bohrungen Bleckenstedt 1 (B67) und Üfingen 1 (B100) sind für alle Rechenfälle in der Tab. 5-3 zusammengestellt.

Im Referenzfall und bei niedrigeren  $k_f$ -Werten der unversetzten Bohrlochabschnitte (R34, R35, R19, R30) übersteigt der Zufluss zur Bohrung aus den Deckschichten jenen aus dem Kimmeridge, was den grossen Unterschied der Wasserflüsse im Alb und in der Unterkreide erklärt. Mit steigendem  $k_f$ -Wert steigt auch der Wasserfluss entlang den Bohrungen. Der Zufluss aus den Deckschichten verliert zunehmend an Bedeutung, weshalb der Anstieg im Alb ungefähr proportional, jener in der Unterkreide aber überproportional erfolgt. Bei einem  $k_f$ -Wert von  $10^{-3}$  m/s (R16) betragen die Wasserflüsse rund  $40 \text{ m}^3/\text{a}$  bzw.  $110 \text{ m}^3/\text{a}$ .

Bei extrem hohen Durchlässigkeiten (Rechenfall R31, R32) steigen die Wasserflüsse auf Werte zwischen  $500 \text{ m}^3/\text{a}$  und  $3000 \text{ m}^3/\text{a}$  und erreichen damit die Grössenordnung des gesamten Wasserumsatzes im Oxford und Kimmeridge im Referenzfall. In diesen Fällen wird der Wasserfluss in den Bohrungen nicht mehr durch deren Transmissivität, sondern durch andere Faktoren, wie z.B. den Wassernachschub in die Schichten Oxford und Kimmeridge und die Durchlässigkeit in der Bohrlochumgebung bestimmt.

Der Einfluss des  $k_f$ -wertes in der Umgebung des Bohrloches ist aus einem Vergleich der Rechenfälle R16 und R29 einerseits und der Fälle R31 und R32 andererseits ersichtlich. Bei extrem hohen Bohrlochdurchlässigkeiten bewirkt die ausgedehnte Kluftzone in der Umgebung der Bohrung Bleckenstedt 1 eine Erhöhung des Durchflusses um einen Faktor 3 (R32 im Vergleich mit R31), während die Bohrlochdurchlässigkeit selbst bei einem hohen

Wert von  $10^{-3}$  m/s (R16, R29) noch limitierend ist, so dass die Kluftzone keinen merklichen Einfluss ausübt.

Die Flüsse in der Bohrung Üfingen 1 sind in den Fällen R16 ff. etwas höher als in Bleckenstedt 1, da ab diesem Rechenfall die beiden Bohrungen unterschiedliche Querschnitte aufweisen. Ausnahmen bilden die beiden Fälle R31 und R32 in welchen wie oben besprochen die Bohrlochtransmissivität keinen limitierenden Einfluss hat.

Der Wasserfluss in den versetzten Bohrlochabschnitten beträgt rund  $10^{-4}$  m<sup>3</sup>/a oder weniger und ist damit äusserst gering. Der genaue Wert der hydraulischen Durchlässigkeit des Bohrlochversatzes ist deshalb ohne Bedeutung, solange er im Bereich der an Laborproben gemessenen Werte und damit deutlich unter etwa  $10^{-5}$  m/s liegt.

Schliesslich zeigt der Vergleich der beiden Fälle R34 und R35, dass die beiden Schächte Konrad 1 und Konrad 2 mit den gewählten Parametern den Wasserfluss durch die Bohrungen nicht beeinflussen.

## 5.2 Durchfluss durch das Grubengebäude

Der Grubendurchfluss hängt einerseits von den Zu- und Abflüssen in die Schichten Oxford und Kimmeridge und andererseits vom Durchlässigkeitskontrast zwischen dem Grubengebäude und den umgebenden Gesteinen ab.

In Tab. 4-2 sind die Grubendurchflüsse für sämtliche Fälle aufgeführt. Die Berechnung des Fehlermasses wurde bereits in Kapitel 4.2.4 ausführlich besprochen.

Mit steigendem  $k_f$ -Wert der unversetzten Bohrlochabschnitte steigt der Grubendurchfluss leicht und linear an, solange die Transmissivität der Bohrungen klein ist gegenüber jener der Deckschichten. Bei einem  $k_f$ -Wert von  $10^{-3}$  m/s besitzt jede einzelne Bohrung rechnerisch die gleiche vertikale Transmissivität wie eine Deckgebirgssäule mit einer Grundfläche von ungefähr  $40 \text{ km}^2$ . Dies erklärt, weshalb die Bohrlochdurchlässigkeit erst bei extrem hohen Werten (Rechenfälle R31, R32) einen starken Einfluss auf den Grubendurchfluss besitzt.

Die ausgedehnte Kluftzone über dem Grubengebäude bewirkt eine Abnahme des Grubendurchflusses um rund 40 % (Vergleich R29 und R16 resp. R32 und R31). In den Rechenfällen ohne Kluftzone fliesst ein merklicher Anteil des Süd-Nord-Flusses in den Schichten Oxford und Kimmeridge durch das höher durchlässige Grubengebäude, während sich dieser Süd-Nord-Fluss in den Rechenfällen R29, R30 und R32 auf ein mächtigeres Schichtpaket (Grubengebäude, Oxford, Kimmeridge) mit erhöhter Durchlässigkeit verteilt.



Bezüglich des Grubendurchflusses ist die Annahme einer ausgedehnten Kluftzone im Hangenden des Grubengebäudes nicht konservativ.

Die Abhängigkeit des Grubendurchflusses von der Durchlässigkeit der Bohrungen zeigt die Abb. 5-1, in der für alle Rechenfälle diese beiden Grössen gegeneinander aufgetragen sind. Die Rechenfälle liegen auf zwei parallelen Kurven, welche unterhalb einer Durchlässigkeit von  $10^{-3}$  m/s flach verlaufen und oberhalb dieses Wertes stark ansteigen. Der oben beschriebene Einfluss der Kluftzone führt dazu, dass die Kurve der Rechenfälle mit Kluftzone um 40 % unter jener der Fälle ohne Kluftzone liegt.

Abb. 5-2 zeigt die Korrelation zwischen dem Grubendurchfluss und dem kumulierten Wasserfluss durch die Bohrungen Bleckenstedt 1, Sainingen 1 und Sainingen 2. Die Rechenfälle liegen wieder auf zwei deutlich getrennten Kurven.

Diese Abbildung illustriert, dass erst bei Wasserflüssen in den Bohrungen, welche in der Grössenordnung des Grubendurchflusses liegen, der Einfluss der Bohrungen bedeutend wird. In einem breiten Bereich von Parametern, wie er durch die Mehrzahl der betrachteten Rechenfälle aufgespannt wird, steigt der Grubendurchfluss nur wenig mit zunehmendem Fluss in den Bohrungen an.

Die Bohrungen haben bei einer Durchlässigkeit von  $10^{-3}$  m/s oder weniger nur einen geringen Einfluss auf den Grubendurchfluss.

### 5.3 Flliesswege

#### 5.3.1 Anzahl der Flliesswege zu Bohrungen

Der Verlauf der Flliesswege hängt stark von der Transmissivität der unversetzten Bohrlochabschnitte ab. Die stärkere Attraktorwirkung der Bohrungen bei erhöhter Durchlässigkeit zeigt der Vergleich des Potentialverlaufs in den Fällen R16 (Abb. B-1) und R29 (Abb. C-1) mit jenem im Referenzfall (Abb. A-1). Der Unterschied zwischen den Fällen R16 und R29 seinerseits beschränkt sich auf die Schichten Oxford und Kimmeridge und ist nur bei einer feinen Auflösung der Potentiale (Abb. B-2 und C-2, Potentialdifferenz 5 cm) im Bereich des nördlichen Grubenabschnittes sichtbar.

Tab. 5-4 gibt die Klassifizierung sämtlicher Flliesswege für alle Rechenfälle nach den in Abschnitten 4.3.1 ausgeschiedenen Gruppen A, B und C wieder. Mit steigendem  $k_f$ -Wert nimmt die Zahl der Flliesswege, welche

zu Bohrungen führen, von 2 (Referenzfall) auf 17 im Rechenfall R16 zu und erreicht im Rechenfall R31 mit 206 Fliesswegen den höchsten Wert. Eine graphische Darstellung dieser Abhängigkeit zeigen die Abb. 5-3 und 5-4, in denen die Anzahl Fliesswege der Gruppe B gegen die Durchlässigkeit der Bohrungen bzw. den kumulierten Wasserfluss durch die Bohrungen Bleckenstedt 1, Sauringen 1 und Sauringen 2 aufgetragen ist.

Die Rechenfälle liegen wiederum auf zwei Kurven, wobei die Fälle mit der ausgedehnten Kluftzone durchwegs eine geringere Zahl von Fliesswegen zu Bohrungen aufweisen. Auch in dieser Beziehung ist also die Annahme einer ausgedehnten Kluftzone im Hangenden des Grubengebäudes nicht konservativ.

Die Zahl der Fliesswege zu Bohrungen ist in allen Rechenfällen mit Durchlässigkeiten unterhalb  $10^{-3}$  m/s gering und steigt oberhalb dieses Wertes stark an. Der Vergleich der beiden Rechenfälle R15 und R16, die sich nur in den Bohrlochtransmissivitäten um die Faktoren 2 bis 3 unterscheiden, zeigt, dass der starke Anstieg im Bereich der Bohrlochtransmissivitäten dieser Rechenfälle einsetzt.

Der Vergleich der Rechenfälle R10 und R15 zeigt den starken Einfluss der Verbindung der Bohrungen zum Hilssandstein, welcher weiter unten besprochen wird.

Der Tab. 5-4 ist weiter zu entnehmen, dass ausser in den Fällen mit extrem hohen Bohrlochdurchlässigkeiten mindestens die Hälfte der Fliesswege zu Bohrungen aus der oberen Startpunktfläche stammen. Bei einem Startpunkt im oberen Teil des Endlagers führt ein Fliessweg mit grösserer Wahrscheinlichkeit nach oben und in die Nähe von Bohrungen.

### 5.3.2 Angeströmte Bohrungen

Die Aufteilung der Fliesswege nach den angelaufenen Bohrungen ist in Tab. 5-5 gegeben. Unabhängig von der Gesamtzahl der zu Bohrungen führenden Fliesswege weist diese Aufteilung starke Schwankungen auf.

Folgende Gesetzmässigkeiten sind zu erkennen:

Erst bei Durchlässigkeiten von  $10^{-3}$  m/s und darüber verlaufen Trajektorien durch die Bohrung Bleckenstedt 1. Deren Anzahl nimmt mit zunehmender Bohrlochtransmissivität von 1 im Rechenfall R16 auf 13 im Rechenfall R15 zu. Im Rechenfall R10 fliessen 55 Fliesswege zu dieser Bohrung. Dies ist auf die zusätzliche Rolle der Verbindung von Bohrung 321 mit dem Hilssandstein im Rechenfall R10 zurückzuführen; der Zufluss von Wasser aus dem Hilssandstein durch Bohrung

321 hemmt den generellen Fluss entlang der Unterkreidebasis nach Norden, so dass verstärkt Grubenwasser durch die Bohrung Bleckenstedt 1 austritt. Dies führt zu einer überproportionalen Anzahl von Fliesswegen zu dieser Bohrung.

Bei Durchlässigkeiten unter  $10^{-3}$  m/s reicht die Attraktorwirkung der Bohrung 67 nicht mehr aus, um Fliesswege anzuziehen. In diesen Fällen nimmt die Bedeutung der Bohrungen 30, 320 und 100 als Austritt von Fliesswegen zu; es findet ebenfalls eine Verlagerung der Austritte der Fliesswege nach Norden statt.

Die ausgedehnte Kluftzone bewirkt in der Umgebung des Endlagers einen flacheren Verlauf der Fliesswege, so dass nicht nur die Gesamtzahl der Fliesswege zu Bohrungen abnimmt, sondern zudem eine Verlagerung zu nördlicheren Bohrungen stattfindet und die Bohrungen im unmittelbaren Endlagerbereich, wie z.B. die Bohrung Bleckenstedt 1, stark an Bedeutung verlieren (vgl. Abb. B-2 und C-2 bzw. B-3 und C-3).

Die Schächte Konrad 1 und Konrad 2, welche im Referenzfall "Schachtverschluss" in der Unterkreide und Alb eine rund zehnmal grössere Transmissivität als die unversetzten Bohrabschnitt aufweisen, verursachen im unmittelbaren Abstrombereich der Grube eine geringe Änderung des Potentialfeldes, welche einen etwas anderen Verlauf der Fliesswege zu Bohrungen zur Folge hat. Im Gegensatz zum Fall R34, in dem 2 Fliesswege zur Bohrung Saulingen 1 führen, gelangen im Fall R35 keine Trajektorien zu Bohrungen. Insbesondere die Bohrung Bleckenstedt 1 kommt als Austrittspfad nicht in Frage, da am Fusspunkt des unversetzten Teils der Bohrung das Potential höher ist als dasjenige auf der Deckfläche der Grube.

Von den nördlichen Bohrungen Üfingen 1, Alvesse 1 und der Bohrlochgruppe Vechelde stellt ausser in den Extremfällen R31 und R32 nur die Bohrung Üfingen 1 einen nennenswerten Freisetzungspfad dar.

### 5.3.3 Fliesszeiten

Eine Übersicht über die Fliesszeiten vom Endlager zu den einzelnen Bohrungen vermittelt die Tab. 5-6.

Während die Laufzeiten der beiden Fliesswege im Referenzfall über 17 Mio. Jahre betragen, erreichen in den Fällen mit hoher Bohrlochtransmissivität (R16 und R15) Fliesswege die Bohrungen in der Endlagerumgebung nach Zeiten zwischen 40 000 und 2 Mio. Jahren.

Zur Abschätzung der Grundlagen für die Nuklidausbreitungsrechnungen wurde für den Fall R16 versucht, den

den Modellrechnungen in [8] zugrunde gelegten, hypothetischen direkten Fliessweg vom Endlager zur Bohrung Bleckenstedt 1 mit dem Programm TRACK nachzuvollziehen. Durch die Wahl einer Vielzahl von zusätzlichen Startpunkten in der unmittelbaren Umgebung des Startpunktes des hypothetischen Fliessweges konnte eine Trajektorie gefunden werden, die recht genau dem hypothetischen entspricht und die Bohrung Bleckenstedt 1 nach 35'000 Jahren erreicht.

Der grosse Unterschied der Fliesszeiten zur Bohrung Sauringen 1 im Referenzfall einerseits und in den Rechenfällen R10 bis R17 andererseits wurde bereits in Abschnitt 4.3.3 besprochen.

Zusätzliche Informationen über den Verlauf der Fliesswege wie z.B. die Schichteinheit, aus der der Fliessweg in die Bohrung eintritt und den weiteren Verlauf nach dem Eintritt sind für die wichtigsten Parametervariationen R16 und R29 in den Tab. 5-7 und 5-8 gegeben.

#### 5.3.4 Fliesswegstatistik

Statistische Aussagen zum Verlauf der Fliesswege in den einzelnen Rechenfällen beruhen auf der in Abschnitt 4.3.1 eingeführten Klassifizierung der Fliesswege in die Gruppen

- A: Austritt aus dem Modell ohne durch eine Bohrung zu verlaufen
- B: Teilweiser Verlauf durch eine Bohrung
- C: Numerischer Abbruch innerhalb des Modells ohne eine Bohrung zu berühren

und der weiteren Unterteilung der Gruppe C in Fliesswege, welche ohne numerischen Abbruch mit einiger Sicherheit nicht zu Bohrungen führen würden, in solche, welche möglicherweise zu Bohrungen führen würden, und in solche, über welche zunächst keine Aussage gemacht werden kann (siehe ebenfalls Abschnitt 4.3.1).

Als potentiell zu Bohrungen verlaufende Fliesswege der Gruppe C werden jene betrachtet, welche nicht in den Schichten im Liegenden des Oxford enden, bis zum Abbruchpunkt eine Fliesszeit von weniger als 1 Mio. Jahre aufweisen und gleichzeitig

- das Grubengebäude nach oben oder seitlich verlassen oder
- das Grubengebäude nicht verlassen und in unmittelbarer Nachbarschaft eines Startpunktes beginnen, dessen Fliessweg tatsächlich oder potentiell zu einer Bohrung führt.

In den Rechenfällen mit extremen Bohrlochdurchlässigkeiten werden alle Fliesswege ausser jenen, welche im Liegenden des Oxford oder nach einer Laufzeit von mehr als 1 Mio. Jahre abbrechen, als potentielle Fliesswege zu Bohrungen betrachtet.

Die Einteilung der Startpunkte nach den oben aufgeführten Kriterien für den Referenzfall und die Rechenfälle R16 und R29 sind in den Abb. 4-2, 5-5 und 5-6 dargestellt. In Tab. 5-9 ist der prozentuale Anteil der tatsächlich und potentiell zu Bohrungen führenden Fliesswege für alle Rechenfälle zusammengestellt.

Durch die Berücksichtigung der potentiell zu Bohrungen führenden Fliesswege erhöht sich die statistische Wahrscheinlichkeit der Fliesswege zu Bohrungen um den Faktor 2 oder weniger. Eine Ausnahme bildet der Fall R29. In diesem Rechenfall verlässt eine grosse Zahl von Fliesswegen aus der oberen Startpunktfläche das Grubengebäude nach oben oder seitlich, während gleichzeitig in den darunterliegenden Bereichen der mittleren und unteren Fläche zahlreiche Fliesswege innerhalb des Grubengebäudes abbrechen. Dies ist auf den Wegfall der Kanalisationswirkung durch das Grubengebäude und der damit zusammenhängenden weiteren Verflachung des Potentials zurückzuführen und verursacht eine überdurchschnittliche Zahl von potentiell zu Bohrungen führenden Fliesswegen. In diesem Rechenfall dürften die Kriterien zur Bestimmung der potentiell zu Bohrungen führenden Fliesswege nur beschränkt selektiv sein.

Tab. 5-9 zeigt, dass die Zahl der Fliesswege zu Bohrungen über einen weiten Parameterbereich gering ist und unter Berücksichtigung der tatsächlichen Bohrlochdurchmesser erst bei Durchlässigkeiten über  $10^{-3}$  m/s einen Anteil von 10 % übersteigt.

Im Referenzfall führen weniger als 1 % aller Fliesswege zu Bohrungen.

#### 5.4 Abschätzung der Verdünnung

Um den Anteil Grubenwasser am Bohrlochdurchfluss und damit die Verdünnung abzuschätzen, werden im folgenden mit zwei verschiedene Methoden Verdünnungsrechnungen durchgeführt.

##### 5.4.1 Verdünnungsrechnung 1

Wegen der regelmässigen Verteilung der Startpunkte über das Grubengebäude kann angenommen werden, dass jeder Fliessweg den Freisetzungspfad eines näherungsweise gleich grossen Anteils des geplanten Endlagers repräsentiert. Im weiteren wird angenommen, dass die Gesamtheit der durch die Begrenzungsfläche des Grubengebäudes austretenden Fliesswege den gesamten Wasserfluss durch das Grubengebäude vertritt. Auf der Grundlage dieser Annahme wird im folgenden der Anteil des Grubenwassers an den einzelnen Bohrlochdurchflüssen ermittelt.

Dabei wird wie folgt vorgegangen: Für jeden Startpunkt wird das Oberflächenelement des Grubengebäudes bestimmt, durch welches der entsprechende Fliessweg ins Oxford austritt. Für jedes betroffene Oberflächenelement wird anschliessend die prozentuale Aufteilung der Fliesswege zu den einzelnen Bohrungen und zu den Gruppen A und C ermittelt. Mit diesen Verhältnissen wird dann der gesamte Wasserfluss durch das Oberflächenelement aufgeteilt und den einzelnen Bohrungen zugewiesen.

Der Vergleich der derart ermittelten Wasserflüsse aus dem Endlager in die einzelnen Bohrungen mit den gesamten Bohrlochdurchflüssen im Alb ergibt für jedes Bohrloch einen Schätzwert für den Anteil an Grubenwasser und damit der Verdünnung.

Die Ergebnisse dieser Abschätzung für den Referenzfall R34 und die Rechenfälle R16 und R29 sind in den Tab. 5-10 bis 5-12 enthalten. Es ist darauf hinzuweisen, dass diese Werte trotz ihres Detaillierungsgrades nur grobe Schätzungen darstellen.

Da von den drei behandelten Rechenfällen R16 die grösste Zahl von Fliesswegen zu Bohrungen aufweist, sollen an diesem Beispiel einige Beobachtungen aufgeführt werden (Tab. 5-11):

Die einzelnen Trajektorien repräsentieren sehr unterschiedliche Wassermengen. So weist z.B. die von einer einzigen Trajektorie durchquerte Fläche 10 einen Durchfluss von 22,8 m<sup>3</sup>/a auf, während die Seitenfläche 302 bei einem ähnlichen Durchfluss von 48 Fliesswegen durchquert wird.

Ausser in der Bohrung Üfingen 1 ist der ermittelte Anteil an Grubenwasser hoch. In der Bohrung Bleckenstedt 1 beträgt er, bei einer schlechten Statistik, rund 50 %, in den Bohrungen Sauingen 1 und Sauingen 2 rund 100 %. Aus diesen Ergebnissen muss geschlossen werden, dass die Flüsse in diesen drei Bohrungen im Rechenfall R16 praktisch vollständig aus dem Grubengebäude gespeist werden. Zur gleichen Folgerung führen auch Betrachtungen zur Auswirkung der Querdispersion für Fliesswege vom Endlager zur Bohrung Bleckenstedt 1 [8].

Demgegenüber beträgt der Anteil in der Bohrung Üfingen 1 weniger als 10 %. Dies zeigt deutlich, dass die Anzahl Fliesswege in eine Bohrung keinen Rückschluss auf den Anteil Grubenwasser zulässt.

Im Referenzfall R34 führen nur zwei Fliesswege zu Bohrungen. Die Verdünnungsrechnung (Tab. 5-10) ergibt, allerdings bei einer schmalen statistischen Basis, einen Anteil von 100 % Grubenwasser am Fluss entlang der Bohrung Sauingen 1.

Im Rechenfall R29 ergibt die Verdünnungsrechnung (Tab. 5-12), dass die 8 zur Bohrung Üfingen 1 führenden Trajektorien rund 5 % des Bohrlochdurchflusses darstellen. Wie aus Tab. 5-12 hervorgeht, repräsentieren auch in diesem Fall die einzelnen Fliesswege sehr unterschiedliche Wassermengen. Durch die relativ grosse Zahl von Fliesswegen, welche aus numerischen Gründen innerhalb des Grubengebäudes abbrechen und welche bei der Verdünnungsrechnung nicht berücksichtigt werden können, verringert sich die Zuverlässigkeit der Abschätzung. Das Resultat stimmt jedoch gut mit jenem des vergleichbaren Rechenfalles R16 überein.

#### 5.4.2 Verdünnungsrechnung 2

Für den Rechenfall R16 wird die Grössenordnung der mit der Verdünnungsrechnung 1 erhaltenen Werte mit Hilfe einer zweiten Methode überprüft.

Durch Vergleich der Flüsse entlang den Bohrungen (Tab. 5-1), der Durchflüsse durch die Schnitte A bis D (Abb. 2-1, Tab. 5-13) und der Werte für den Durchfluss durch das Grubengebäude (Tab. 4-2) wird für das Schichtpaket Lias bis Unterkreide eine Bilanz der Flüsse zwischen den Schnitten A bis D erstellt. Diese ist in Abb. 5-7 wiedergegeben.

Die Verdünnungsrechnung 2 beruht auf der Bildung von zwei Kompartimenten, innerhalb welcher vollständige Durchmischung angenommen wird. Das eine Kompartiment umfasst das Oxford, das zweite Kompartiment den Kimmeridge zwischen den Schnitten B und C. Durch eine Bilanzierung der Wasserflüsse und eine Mischrechnung ergibt sich ein Anteil von 11 % Grubenwasser im Kompartiment Kimmeridge und damit auch im Bohrlochdurchfluss zwischen den Schnitten B und C, falls die Kompartimente die gesamte Ost-West-Ausdehnung der beiden Schichten umfassen (Abb. 5-8, oben).

Wird dagegen angenommen, dass nur ein Teil des von Süd nach Nord fliessenden Wassers im Oxford und Kimmeridge mit dem Wasser aus der Grube vermischt wird und dass damit die Kompartimente nur einen Teil der Ost-West Ausdehnung der Schichten Oxford und Kimmeridge umfassen, so resultieren höhere Konzentrationen. Bei einem angesetzten Wasserumsatz des Kompartimentes Oxford von 2,2 l/min und eines solchen des Kompartimentes Kimmeridge von 3,0 l/min erhöht sich die Konzentration auf 32 %.

Diese überschlagsmässige Berechnung zeigt, dass ein wesentlicher Anteil des Flusses durch die Bohrungen 67, 30 und 320 aus der Grube stammt. Die mit dieser zweiten Methode erhaltene grobe Abschätzung bestätigt damit in ihrer Tendenz die mit der Verdünnungsrechnung 1 erhaltenen Werte.

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

Der Einfluss der Tiefbohrungen auf die Langzeitsicherheit des geplanten Endlagers kann durch eine Veränderung der Potentialwerte, eine Veränderung des Grubendurchflusses oder deren Rolle als Freisetzungspfad erfolgen.

Die Modellrechnungen zeigen, dass die hydraulischen Auswirkungen der Bohrungen von zwei Hauptfaktoren bestimmt werden:

- Lage bezüglich des Hilssandsteins (Bohrungen im Bereich des Hilssandsteins leiten Wasser zur Grube, jene ausserhalb seines Verbreitungsgebietes stellen potentielle Freisetzungspfade dar)
- Bohrlochtransmissivität in den wasserstauenden Deck- schichten Unterkreide (kru) und Alb

Bei realistischen und bei konservativen (aber nicht vollständig unrealistischen) Parametern können folgende allgemeinen Aussagen gemacht werden:

- Die Bohrungen haben keinen oder nur einen untergeordneten Einfluss auf die hydraulischen Potentiale und auf die Wasserflüsse durch das Endlager und die einzelnen Schichten.
- Sicherheitsrelevant können sich Bohrungen höchstens als potentielle Freisetzungspfade auswirken.
- Bohrungen im Zustrombereich des geplanten Endlagers haben für dessen Langzeitsicherheit keine Bedeutung.
- Die Modellierung sämtlicher Bohrungen innerhalb des Modellgebietes ist nicht erforderlich.

Im Referenzfall, bei einer Durchlässigkeit der unversetzten Bohrlochabschnitte von  $10^{-5}$  m/s, stellen die Bohrungen keine sicherheitsrelevanten Freisetzungspfade für Wasser aus dem geplanten Endlager dar. Diese Beurteilung, welche auf die hydraulischen Modellergebnisse allein abstützt, wird durch Rechnungen zur Nuklidausbreitung bestätigt [8].

Der Durchlässigkeitsbeiwert der versetzten Bohrlochabschnitte ist ohne Einfluss auf die Modellergebnisse, solange er im Bereich der an Laborproben gemessenen Werte und deutlich unter  $10^{-5}$  m/s liegt.

Bei steigender Transmissivität der unversetzten Bohrlochabschnitte nimmt die Bedeutung der Tiefbohrungen als potentielle Freisetzungspfade zu. Ab einem Durchlässigkeitsbeiwert von ca.  $10^{-4}$  m/s fliesst ein nennenswerter Prozentsatz des Grubendurchflusses zu Boh-



rungen. In diesen Fällen muss für die der Grube am nächsten gelegenen Bohrungen von einem hohen Anteil an Grubenwasser im Bohrlochdurchfluss ausgegangen werden. Der Einfluss der Bohrungen wirkt sich ab  $k_f$ -Werten über  $10^{-3}$  m/s auch auf die Wasserflüsse und die Potentialwerte im Endlagerbereich aus.

Die Annahme einer ausgedehnten Kluftzone im Hangenden des Grubengebäudes hat keine negativen Auswirkungen auf die Langzeitsicherheit des geplanten Endlagers.

## LITERATURVERZEICHNIS

Nr.	Autor	Titel
1	MCI	Schachtanlage Konrad, Salzgitter: Modellrechnungen mit dem Programm FEM301 für ein alternatives geologisches/hydrogeologisches Modell. Schlussbericht. 4 Bände, 15.11.1988
2	BGR	Hydrogeologie Konrad - erweiterter Bereich. Zwischenbericht 1984. Arch.Nr. 96603, Tb.Nr. 11269, 57 S., 25 Anl., 30.6.1984
3	PTB	Tiefbohrungen im modellierten Gebiet der Ausbreitungsrechnungen Konrad. Juli 1987
4	COLENCO	Schachtanlage Konrad, Salzgitter: Modellrechnungen mit dem Programm FEM301 für ein alternatives geologisches/hydrogeologisches Modell. Modellrechnungen zum Schachtverschluss. - 1989
5	PTB	Durchmesser von Tiefbohrungen im Teufenabschnitt Unterkreide. - BGR ( ), Brief, 2 S., 29.12.1988
6	WITTKÉ W. LOUIS Cl.	Modellversuche zur Durchströmung klüftiger Medien. - Felsmechanik u. Ingenieurgeol., Suppl. IV, 52-78 - 1968
7	BGR	Revision von Tiefbohrungen. Blatt 3827 Lebenstedt West, Blatt 3828 Lebenstedt-Ost. - Band 6, Archiv-Nr. 100 547/6, Tageb.-Nr. 12505/88, 15. November 1988
8	COLENCO	Schachtanlage Konrad, Salzgitter: Einfluss der bestehenden Tiefbohrungen und des Schachtverschlusses. Modellierung der Radionuklideausbreitung. Schlussbericht. -1989
9	BGR	Abschätzung der mittleren Abstände von Trennflächen für Klüftwasserleiter im Gebiet der Schachtanlage Konrad. Archiv-Nr. 103968, Tageb.-Nr. 12549/88, Oktober 1988

## TABELLEN

2-1	Modellierte Bohrungen, Vorgaben und Modellierung
3-1	Parameter (3 Seiten)
3-2	Charakterisierung der Rechenfälle
4-1	Rechenfall R34 (Referenzfall): Flüsse entlang Bohrungen in $m^3/a$
4-2	Durchfluss durch das Grubengebäude
4-3	Rechenfall R34 (Referenzfall): Trajektorien der Gruppe B, mit teilweisem Verlauf in Bohrungen
5-1	Rechenfall R16: Flüsse entlang Bohrungen in $m^3/a$
5-2	Rechenfall R29: Flüsse entlang Bohrungen in $m^3/a$
5-3	Flüsse in ausgewählten Bohrungen
5-4	Klassifizierung aller Trajektorien
5-5	Aufteilung der Fliesswege nach Bohrungen
5-6	Laufzeiten der durch Bohrungen verlaufenden Trajek- torien in Mio. Jahren
5-7	Rechenfall R16: Trajektorien der Gruppe B, mit teil- weisem Verlauf in Bohrungen
5-8	Rechenfall R29: Trajektorien der Gruppe B, mit teil- weisem Verlauf in Bohrungen
5-9	Statistik der potentiellen Fliesswege nach Bohrungen
5-10	Rechenfall R34: Verdünnungsrechnung 1
5-11	Rechenfall R16: Verdünnungsrechnung 1
5-12	Rechenfall R29: Verdünnungsrechnung 1
5-13	Rechenfall R16: Flüsse durch die Schnitte A bis D in l/min

## ABBILDUNGEN

- 1-1 Gebietseinteilung
- 2-1 Elementnetz (Südabschnitt) mit Lage der Bohrung und der Schnitte A bis D
- 2-2 Schnitt 398 mit der Bohrung 67
- 2-3 Schnitt 422 mit der Bohrung 70
- 2-4 Schnitt 376 mit der Bohrung 71
- 2-5 Schnitt 448 mit der Bohrung 79
- 2-6 Schnitt 374 mit der Bohrung 80
- 2-7 Rechenfälle R15ff.: Schnitt 316 mit den Bohrungen 28 und 81
- 2-8 Rechenfälle R15ff.: Schnitt 314 mit der Bohrung K101
- 2-9 Rechenfälle R15ff.: Schnitt 507 mit den Bohrungen 100, 166 und 183
- 2-10 Schnitt 312 mit den Bohrungen 30, 320 und 321
- 2-11 Schnitt 304 mit den Bohrungen 106-107-111
- 2-12 Rechenfall R10: Schnitt 316 mit den Bohrungen 28 und 81
- 2-13 Rechenfall R10: Schnitt 314 mit der Bohrung K101
- 2-14 Rechenfall R10: Schnitt 507 mit den Bohrungen 100, 166 und 183
- 2-15 Startpunkte der Trajektorien im Grubengebäude
- 2-16 Schematische Übersicht der modellierten Bohrungen
- 4-1 Gruben-Elemente, Begrenzungsflächen des Grubengebäudes, an Grube anstossende Oxford-Elemente
- 4-2 Rechenfall R34 (Referenzfall): Bestimmung der potentiellen Fliesswege nach Bohrungen
- 5-1 Abhängigkeit des Grubendurchflusses von der Durchlässigkeit der Bohrungen in Unterkreide (kru) und Alb
- 5-2 Abhängigkeit des Grubendurchflusses vom kumulierten Fluss der Bohrungen 67, 30 und 320 im Alb

- 5-3 Abhängigkeit der Anzahl Fliesswege der Gruppe B von der Durchlässigkeit der Bohrungen in Unterkreide (kru) und Alb
- 5-4 Abhängigkeit der Anzahl Fliesswege der Gruppe B vom kumulierten Fluss der Bohrungen 67, 30 und 320 im Alb
- 5-5 Rechenfall R16: Bestimmung der potentiellen Fliesswege nach Bohrungen
- 5-6 Rechenfall R29: Bestimmung der potentiellen Fliesswege nach Bohrungen
- 5-7 Rechenfall R16: Bilanz der Flüsse zwischen den Schnitten A und D im Schichtpaket Cornbrash-Sandstein bis Kimmeridge
- 5-8 Rechenfall R16: Verdünnungsrechnung 2

## FARBIGE ABBILDUNGEN

**A Rechenfall R34**

- A-1 Schnitt 8-9, Ausschnitt mit den Bohrungen 67 und 320  
A-2 Schnitt 8-9, Ausschnitt mit den Bohrungen 67 und 320,  
Potential zwischen 106 und 107 m NN  
A-3 Schnitt 507, Ausschnitt mit den Bohrungen 183, 100 und  
166  
A-4 Schnitt 507, Ausschnitt mit den Bohrungen 183, 100 und  
166, Potential zwischen 102 und 104,4 m

Potentiale an der Basis

- A-5 Oberkreide  
A-6 Hilssandstein  
A-7 Unterkreide  
A-8 Oxford

Potentialunterschiede R34-R01

- A-9 Schnitt 8-9, Ausschnitt mit den Bohrungen 67, 320  
A-10 Schnitt 507, Ausschnitt mit den Bohrungen 183, 100 und  
166

Potentialunterschiede R34-R01, Basisflächen von  
Schichteinheiten (Südabschnitt)

- A-11 Basis Oberkreide  
A-12 Basis Unterkreide  
A-13 Basis Oxford

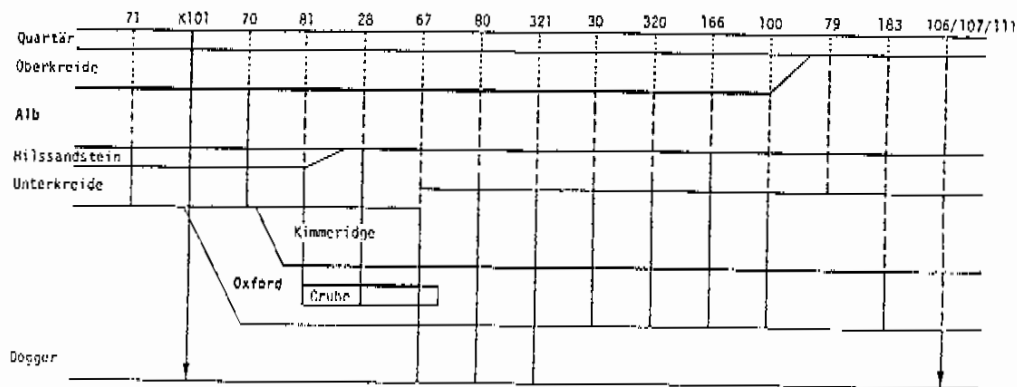
Fliesswege der Gruppe B (teilweise durch Bohrungen ver-  
laufend)

- A-14 Grundriss  
A-15 Schräge Aufsicht  
A-16 Schnitt 8-9, Ausschnitt

Alle Fließwege: Grundriss

- A-17 obere Schicht
- A-18 mittlere Schicht
- A-19 untere Schicht
- B Rechenfall R16
- B-1 Potential im Schnitt 8-9, Ausschnitt mit den Bohrungen 67 und 320
- B-2 Potential im Schnitt 8-9 zwischen 104,4 und 106 m NN
- B-3 Fließwege der Gruppe B (teilweise durch Bohrungen verlaufend) im Schnitt 8-9
- C Rechenfall R29
- C-1 Potential im Schnitt 8-9, Ausschnitt mit den Bohrungen 67 und 320
- C-2 Potential im Schnitt 8-9 zwischen 104,4 und 106,4 m NN
- C-3 Fließwege der Gruppe B (teilweise durch Bohrungen verlaufend) im Schnitt 8-9

	Sämtliche Bohrungen (ausser K101)		Bohrung K101	Bemerkung	
	Unversetzt				Versetzt
	Durch- lässig [m/s]	Wenig durchl. [m/s]			
	[m/s]	[m/s]	[m/s]		
R08	1·10 <sup>-4</sup>		1·10 <sup>-4</sup>		Bohrquerschnitt 0.1 m <sup>2</sup> Bohrungen 28, 80, 321 mit Verbindung zum Hilsandstein
R10	1·10 <sup>-3</sup>		2·10 <sup>-8</sup>	wie die anderen Bohrungen	wie R08 Bohrung 81 und 183, Versatz bis Basis Unterkreide
R15	1·10 <sup>-3</sup>		2·10 <sup>-8</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	Bohrquerschnitt 0.1 m <sup>2</sup> Ab R15: - Verbindung der Bohrungen 28, 80 und 321 zum Hilsandstein unter- brochen - Bohrung 81, Versatz bis Basis Hilsandsandstein - Bohrung 183, Versatz bis Basis Kimmeridge
R16	1·10 <sup>-3</sup>		2·10 <sup>-8</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	Ab R16: Bohrquerschnitt modifiziert (siehe Tab. 3-1)
R17	1·10 <sup>-4</sup>		1·10 <sup>-7</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	
R19	1·10 <sup>-5</sup>		2·10 <sup>-8</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	
R29	1·10 <sup>-3</sup>		1·10 <sup>-8</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	Kluftzone oberhalb Grube 1·10 <sup>-3</sup>
R30	1·10 <sup>-3</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	Kluftzone oberhalb Grube 1·10 <sup>-3</sup>
R31	1		1·10 <sup>-8</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	
R32	1		1·10 <sup>-8</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	Kluftzone oberhalb Grube 1·10 <sup>-3</sup>
R34	1·10 <sup>-3</sup>	1·10 <sup>-5</sup>	2·10 <sup>-8</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	Referenzfall "Alte Bohrungen"
R35	1·10 <sup>-3</sup>	1·10 <sup>-5</sup>	2·10 <sup>-8</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	Referenzfall "Schachtverschluss"



Legende:  
 ..... durchlässig  
 - - - - wenig durchlässig } unversetzt  
 ————— versetzt





Ein Unternehmen der Columbus System AG

CH-5401 BADEN/SCHWEIZ

## **SCHACHTANLAGE KONRAD, SALZGITTER**

**Modellrechnungen mit dem Programm FEM 301  
für ein alternatives  
geologisches/hydrogeologisches Modell  
Auftrags-Nr. 9K 352126.39**

### **AUSWIRKUNGEN DER BESTEHENDEN TIEFBOHRUNGEN Band II: Tabellen und Abbildungen**

17. August 1989



Der Bericht wurde im Auftrag der PHYSIKALISCH-TECHNISCHEN BUNDESANSTALT (PTB) erstellt. Die PTB behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung der PTB zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

## TABELLEN

2-1	Modellierte Bohrungen, Vorgaben und Modellierung
3-1	Parameter (3 Seiten)
3-2	Charakterisierung der Rechenfälle
4-1	Rechenfall R34 (Referenzfall): Flüsse entlang Bohrungen in $m^3/a$
4-2	Durchfluss durch das Grubengebäude
4-3	Rechenfall R34 (Referenzfall): Trajektorien der Gruppe B, mit teilweisem Verlauf in Bohrungen
5-1	Rechenfall R16: Flüsse entlang Bohrungen in $m^3/a$
5-2	Rechenfall R29: Flüsse entlang Bohrungen in $m^3/a$
5-3	Flüsse in ausgewählten Bohrungen
5-4	Klassifizierung aller Trajektorien
5-5	Aufteilung der Fliesswege nach Bohrungen
5-6	Laufzeiten der durch Bohrungen verlaufenden Trajek- torien in Mio. Jahren
5-7	Rechenfall R16: Trajektorien der Gruppe B, mit teil- weisem Verlauf in Bohrungen
5-8	Rechenfall R29: Trajektorien der Gruppe B, mit teil- weisem Verlauf in Bohrungen
5-9	Statistik der potentiellen Fliesswege nach Bohrungen
5-10	Rechenfall R34: Verdünnungsrechnung 1
5-11	Rechenfall R16: Verdünnungsrechnung 1
5-12	Rechenfall R29: Verdünnungsrechnung 1
5-13	Rechenfall R16: Flüsse durch die Schnitte A bis D in $l/min$

## ABBILDUNGEN

- 1-1 Gebietseinteilung
- 2-1 Elementnetz (Südabschnitt) mit Lage der Bohrung und der Schnitte A bis D
- 2-2 Schnitt 398 mit der Bohrung 67
- 2-3 Schnitt 422 mit der Bohrung 70
- 2-4 Schnitt 376 mit der Bohrung 71
- 2-5 Schnitt 448 mit der Bohrung 79
- 2-6 Schnitt 374 mit der Bohrung 80
- 2-7 Rechenfälle R15ff.: Schnitt 316 mit den Bohrungen 28 und 81
- 2-8 Rechenfälle R15ff.: Schnitt 314 mit der Bohrung K101
- 2-9 Rechenfälle R15ff.: Schnitt 507 mit den Bohrungen 100, 166 und 183
- 2-10 Schnitt 312 mit den Bohrungen 30, 320 und 321
- 2-11 Schnitt 304 mit den Bohrungen 106-107-111
- 2-12 Rechenfall R10: Schnitt 316 mit den Bohrungen 28 und 81
- 2-13 Rechenfall R10: Schnitt 314 mit der Bohrung K101
- 2-14 Rechenfall R10: Schnitt 507 mit den Bohrungen 100, 166 und 183
- 2-15 Startpunkte der Trajektorien im Grubengebäude
- 2-16 Schematische Übersicht der modellierten Bohrungen
- 4-1 Gruben-Elemente, Begrenzungsflächen des Grubengebäudes, an Grube anstossende Oxford-Elemente
- 4-2 Rechenfall R34 (Referenzfall): Bestimmung der potentiellen Fliesswege nach Bohrungen
- 5-1 Abhängigkeit des Grubendurchflusses von der Durchlässigkeit der Bohrungen in Unterkreide (kru) und Alb
- 5-2 Abhängigkeit des Grubendurchflusses vom kumulierten Fluss der Bohrungen 67, 30 und 320 im Alb

- 5-3 Abhängigkeit der Anzahl Fließwege der Gruppe B von der Durchlässigkeit der Bohrungen in Unterkreide (kru) und Alb
- 5-4 Abhängigkeit der Anzahl Fließwege der Gruppe B vom kumulierten Fluss der Bohrungen 67, 30 und 320 im Alb
- 5-5 Rechenfall R16: Bestimmung der potentiellen Fließwege nach Bohrungen
- 5-6 Rechenfall R29: Bestimmung der potentiellen Fließwege nach Bohrungen
- 5-7 Rechenfall R16: Bilanz der Flüsse zwischen den Schnitten A und D im Schichtpaket Cornbrash-Sandstein bis Kimmeridge
- 5-8 Rechenfall R16: Verdünnungsrechnung 2

## FARBIGE ABBILDUNGEN

## A Rechenfall R34

- A-1 Schnitt 8-9, Ausschnitt mit den Bohrungen 67 und 320  
A-2 Schnitt 8-9, Ausschnitt mit den Bohrungen 67 und 320,  
Potential zwischen 106 und 107 m NN  
A-3 Schnitt 507, Ausschnitt mit den Bohrungen 183, 100 und  
166  
A-4 Schnitt 507, Ausschnitt mit den Bohrungen 183, 100 und  
166, Potential zwischen 102 und 104,4 m

Potentiale an der Basis

- A-5 Oberkreide  
A-6 Hilssandstein  
A-7 Unterkreide  
A-8 Oxford

Potentialunterschiede R34-R01

- A-9 Schnitt 8-9, Ausschnitt mit den Bohrungen 67, 320  
A-10 Schnitt 507, Ausschnitt mit den Bohrungen 183, 100 und  
166

Potentialunterschiede R34-R01, Basisflächen von  
Schichteinheiten (Südabschnitt)

- A-11 Basis Oberkreide  
A-12 Basis Unterkreide  
A-13 Basis Oxford

Fließwege der Gruppe B (teilweise durch Bohrungen ver-  
laufend)

- A-14 Grundriss  
A-15 Schräge Aufsicht  
A-16 Schnitt 8-9, Ausschnitt

Alle Fließwege: Grundriss

- A-17 obere Schicht  
A-18 mittlere Schicht  
A-19 untere Schicht
- B Rechenfall R16**
- B-1 Potential im Schnitt 8-9, Ausschnitt mit den Bohrungen 67 und 320  
B-2 Potential im Schnitt 8-9 zwischen 104,4 und 106 m NN  
B-3 Fließwege der Gruppe B (teilweise durch Bohrungen verlaufend) im Schnitt 8-9
- C Rechenfall R29**
- C-1 Potential im Schnitt 8-9, Ausschnitt mit den Bohrungen 67 und 320  
C-2 Potential im Schnitt 8-9 zwischen 104,4 und 106,4 m NN  
C-3 Fließwege der Gruppe B (teilweise durch Bohrungen verlaufend) im Schnitt 8-9

**T O P S E R V I C E**

No.	Description	Rate	Expiry	Remarks	Deduct	Net Pay	Service Record		Leave Record	
							From	To	From	To

01	Bandwidth 1	50.0	1/1/11	30 days	0.00	50.00	01/01/11	31/03/11	100	0
02	Bandwidth 2	100.0	1/1/11	60 days	0.00	100.00	01/01/11	31/03/11	200	0
03	Bandwidth 3	150.0	1/1/11	90 days	0.00	150.00	01/01/11	31/03/11	300	0
04	Bandwidth 4	200.0	1/1/11	120 days	0.00	200.00	01/01/11	31/03/11	400	0
05	Bandwidth 5	250.0	1/1/11	150 days	0.00	250.00	01/01/11	31/03/11	500	0
06	Bandwidth 6	300.0	1/1/11	180 days	0.00	300.00	01/01/11	31/03/11	600	0
07	Bandwidth 7	350.0	1/1/11	210 days	0.00	350.00	01/01/11	31/03/11	700	0
08	Bandwidth 8	400.0	1/1/11	240 days	0.00	400.00	01/01/11	31/03/11	800	0
09	Bandwidth 9	450.0	1/1/11	270 days	0.00	450.00	01/01/11	31/03/11	900	0
10	Bandwidth 10	500.0	1/1/11	300 days	0.00	500.00	01/01/11	31/03/11	1000	0

01 Bandwidth 1: 50.00  
 02 Bandwidth 2: 100.00  
 03 Bandwidth 3: 150.00  
 04 Bandwidth 4: 200.00  
 05 Bandwidth 5: 250.00  
 06 Bandwidth 6: 300.00  
 07 Bandwidth 7: 350.00  
 08 Bandwidth 8: 400.00  
 09 Bandwidth 9: 450.00  
 10 Bandwidth 10: 500.00





	4. EINLIMENSIONALE ELEMENTE (Bohrungen, Strecke, Schächte)																
	Effektive Porosität	K-Klasse	Quer-Schnitt	R08			K-Klasse	Quer-Schnitt	Durchlässigkeit								
				R10	R15	Durchlässigkeit			R16	R17	R19	R29	R30	R31	R32	R34	R35
[%]		[m <sup>2</sup> ]			[m/s]		[m <sup>2</sup> ]		[m/s]								
<b>4. EINLIMENSIONALE ELEMENTE (Bohrungen, Strecke, Schächte)</b>																	
<b>STRECKEN</b>																	
Nordstrecke	10	180	10	1E-04	1E-04	1E-04	180	10	1E-04	1E-04	1E-04	1E-04	1E-04	1E-04	1E-04	1E-04	1E-04
Doggenstrecke B von Schacht Konrad 2 (1)	10	190	100	1E-04	1E-04	1E-04	190	100	1E-04	1E-04	1E-04	1E-04	1E-04	1E-04	1E-04	1E-04	1E-04
<b>BOHRUNGEN, UNVERSICHTETE ABSCHNITTE (2)</b>																	
durchlässiger Teil:																	
29, 30, 70, 71, 80, 81, 166, 183, 320, 321	10	900	0.1		1E-03	1E-03	905	0.04	1E-03	1E-04	1E-05	1E-03	1E-03	1.0	1.0	1E-03	1E-03
67 Bleckenstedt 1, 79 Broistedt 39	10	900	0.1		1E-05	1E-03	900	0.03	1E-03	1E-04	1E-05	1E-03	1E-03	1.0	1.0	1E-03	1E-03
100 Uefingen 1	10	900	5.1		1E-03	1E-03	910	0.08	1E-03	1E-04	1E-05	1E-03	1E-03	1.0	1.0	1E-03	1E-03
106-107-111 Wechelde 2/2a, 3, 4	10	910	3.1		1E-03	1E-03	915	0.20	1E-03	1E-04	1E-05	1E-03	1E-03	1.0	1.0	1E-03	1E-03
wenig durchlässiger Teil: (3)																	
28, 30, 70, 71, 80, 81, 166, 183, 320, 321	10						907	0.04				1E-03	1E-03		1.0	1E-03	1E-03
67 Bleckenstedt 1, 79 Broistedt 39	10						902	0.03				1E-03	1E-03		1.0	1E-03	1E-03
100 Uefingen 1	10						912	0.08				1E-03	1E-03		1.0	1E-03	1E-03
106-107-111 Wechelde 2/2a, 3, 4	10						917	0.20				1E-03	1E-03		1.0	1E-03	1E-03
<b>BOHRUNGEN, VERSICHTETE ABSCHNITTE (2)</b>																	
28, 30, 67, 70, 71, 79, 80, 81, 100, 166, 183, 320, 321	10	920	0.1	1E-04	2E-08	2E-08	920	0.03	2E-08	1E-07	2E-08	1E-08	1E-08	1E-08	1E-08	2E-08	2E-08
106-107-111, Wechelde 2/2a, 3, 4	10	930	0.3	1E-04	2E-08	2E-08	930	0.20	2E-08	1E-07	2E-08	1E-08	1E-08	1E-08	1E-08	2E-08	2E-08
<b>KONRAD (2) (Zweckbohrung)</b>																	
unversetzter Abschnitt	10	900	0.1		1E-03		925	0.04	1E-03	1E-03	1E-05	1E-03	1E-03	1E-03	1E-03	1E-03	1E-03
versetzter Abschnitt	10	920	5.1	1E-04	2E-08	1E-03	925	0.04	1E-03	1E-03	1E-05	1E-03	1E-03	1E-03	1E-03	1E-03	1E-03

Benennungen:  
 (1) Die Doggenstrecken A, B und C sind nicht modelliert. Die Doggenstrecke D wird angenähert berücksichtigt durch von der Basis des Grubengebäudes bis zum Cornarash-Sandstein reichendes 10-Silesit entlang des Schacht Konrad 2  
 (2) Rechenfälle R10 ff: versetzt 44 %, unversetzt 56 %  
 (3) Rechenfälle R30, R34, R35: wenig durchlässig bis Top R1b

			R09	R10	R15			R16	R17	R19	R29	R30	R31	R32	R34	R35	
	Effektive Porosität	R-Klasse	Querschnitt	Transmissivität			N-Klasse	Querschnitt	Transmissivität								
	[%]		[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> /s]				[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> /s]								
<b>4. DIMENSIONALE ELEMENTE (Bohrungen, Strecken, Schächte)</b>																	
<b>STRECKEN</b>																	
Nordstrecke	10	150	10	1E-03	1E-03	1E-03	180	10	1E-03	1E-03	1E-03	1E-03	1E-03	1E-03	1E-03	1E-03	
Doggerstrecke B von Schacht Konrad 2 (1)	10	150	100	1E-02	1E-02	1E-02	190	100	1E-02	1E-02	1E-02	1E-02	1E-02	1E-02	1E-02	1E-02	
<b>BOHRUNGEN, UNVERSETZTE ABSCHNITTE (2)</b>																	
durchlässiger Teil:																	
26, 30, 70, 71, 80, 81, 166, 183, 320, 321	10	900	0.1	1E-04	1E-04	905	0.04	4E-05	4E-05	1E-06	4E-05	4E-05	4E-02	4E-02	4E-05	4E-05	
67 Bleckenstedt 1, 79 Broistedt 33	10	900	0.1	1E-04	1E-04	900	0.03	3E-05	3E-06	1E-06	3E-05	3E-05	3E-02	3E-02	3E-05	3E-05	
100 Uefingen 1	10	900	0.1	1E-04	1E-04	910	0.08	6E-05	6E-06	1E-06	6E-05	6E-05	6E-02	6E-02	6E-05	6E-05	
106-107-111 Wechelde 2/2a, 3, 4	10	910	0.1	1E-04	1E-04	915	0.20	2E-04	2E-05	1E-06	2E-04	2E-04	2E-01	2E-01	2E-04	2E-04	
wenig durchlässiger Teil: (3)																	
26, 30, 70, 71, 80, 81, 166, 183, 320, 321	10					907	0.04				4E-05	4E-10		4E-02	4E-07	4E-07	
67 Bleckenstedt 1, 79 Broistedt 33	10					902	0.03				3E-05	3E-10		3E-02	3E-07	3E-07	
100 Uefingen 1	10					912	0.08				6E-05	6E-10		6E-02	6E-07	6E-07	
106-107-111 Wechelde 2/2a, 3, 4	10					917	0.20				2E-04	2E-09		2E-01	2E-06	2E-06	
<b>BOHRUNGEN, VERSETZTE ABSCHNITTE (2)</b>																	
26, 30, 67, 70, 71, 79, 80, 81, 100, 165, 183, 320, 321	10	920	0.1	1E-05	2E-09	2E-09	920	0.03	6E-10	3E-09	2E-09	3E-10	3E-10	3E-10	3E-10	6E-10	
106-107-111, Wechelde 2/2a, 3, 4	10	930	0.3	3E-05	6E-09	6E-09	930	0.20	4E-09	2E-08	6E-09	2E-05	2E-09	2E-09	4E-09	4E-09	
<b>KONRAD 100 (Zementfüllung)</b>																	
unversetzter Abschnitt	10	900	0.1	1E-04	1E-04	900	0.04	4E-05	4E-05	1E-06	4E-05	4E-05	4E-02	4E-02	4E-05	4E-05	
versetzter Abschnitt	10	920	0.1	1E-05	2E-09	3E-09	925	0.04	4E-10	4E-10	1E-09	4E-10	4E-10	4E-10	4E-10	4E-10	

## Bemerkungen:

- (1) Die Doggerstrecken A, B und C sind nicht modelliert. Die Doggerstrecke B wird angenähert berücksichtigt durch von der Basis des Grubengebäudes bis zum Cornbrash-Sandstein reichendes 10-Element entlang den Schacht Konrad 2
- (2) Rechenfälle R10, R15: versetzt 44 %, unversetzt 56 %
- (3) Rechenfälle R30, R34, R35: wenig durchlässig bis Top R15

	Sämtliche Bohrungen (ausser K101)		Bohrung K101	Bemerkung	
	Unversetzt				Versetzt
	Durch- lässig [m/s]	Wenig durchl. [m/s]			
R08	1·10 <sup>-4</sup>		1·10 <sup>-4</sup>		
R10	1·10 <sup>-3</sup>		2·10 <sup>-8</sup>	wie die anderen Bohrungen	
R15	1·10 <sup>-3</sup>		2·10 <sup>-8</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	
				Bohrquerschnitt 0.1 m <sup>2</sup> Bohrungen 28, 80, 321 mit Verbindung zum Hilssandstein	
				wie R08 Bohrung 81 und 183, Versatz bis Basis Unterkreide	
				Bohrquerschnitt 0.1 m <sup>2</sup> Ab R15: - Verbindung der Bohrungen 28, 80 und 321 zum Hilssandstein unter- brochen - Bohrung 81, Versatz bis Basis Hilssandsandstein - Bohrung 183, Versatz bis Basis Kimmeridge	
R16	1·10 <sup>-3</sup>		2·10 <sup>-8</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	
				Ab R16: Bohrquerschnitt modifiziert (siehe Tab. 3-1)	
R17	1·10 <sup>-4</sup>		1·10 <sup>-7</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	
R19	1·10 <sup>-5</sup>		2·10 <sup>-8</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	
R29	1·10 <sup>-3</sup>		1·10 <sup>-8</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	
				Kluftzone oberhalb Grube 1·10 <sup>-3</sup>	
R30	1·10 <sup>-3</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	
				Kluftzone oberhalb Grube 1·10 <sup>-3</sup>	
R31	1		1·10 <sup>-8</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	
R32	1		1·10 <sup>-8</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	
				Kluftzone oberhalb Grube 1·10 <sup>-3</sup>	
R34	1·10 <sup>-3</sup>	1·10 <sup>-5</sup>	2·10 <sup>-8</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	
				Referenzfall "Alte Bohrungen"	
R35	1·10 <sup>-3</sup>	1·10 <sup>-5</sup>	2·10 <sup>-8</sup>	1·10 <sup>-8</sup>	
				Referenzfall "Schachtverschluss"	

Tab. 3.2 Charakterisierung der Rechenfälle

Bohrung	Alb	Unterkreide	Kimmeridge	Dogger
BOHRUNGEN IM VERBREITUNGSGEBIET DES HILSSANDSTEINS				
80	1.0	-0.2	1E-06	1E-04
321	1.1	-0.3	-2E-06	
81	1.7	-0.002	-4E-06	
28	0.5	0.001	-2E-06	
70	0.002	-2E-04		
K101	0.001	-7E-05		-1E-05
71	0.9	0.001		
Summe der Flüsse	5.2	-0.5	-7E-06	9E-05
BOHRUNGEN NÖRDLICH DER VERBREITUNGSGRENZE DES HILSSANDSTEINS				
67	0.7	0.065	-8E-07	1E-05
30	0.9	-0.021	1E-06	
320	0.7	0.069	8E-07	
79	0.9	-0.072		
166	0.9	4E-04	-5E-07	
100	1.7	0.5	2E-07	
183	0.8	0.3	-2E-04	
106/7/11	33.7	1.3	-0.001	
Summe der Flüsse	40.3	2.1	-0.001	1E-05
Gesamtfluss durch die Bohrungen	45.5	1.6	-0.001	1E-04

## BEMERKUNGEN

+ aufwärtsgerichtete Flüsse

- abwärtsgerichtete Flüsse

Flüsse in m<sup>3</sup>/a1 l/min = 525 m<sup>3</sup>/a, 1000 m<sup>3</sup>/a = 1.9 l/minTab. 4-1 Rechenfall R34 (Referenzfall): Flüsse entlang Bohrungen in m<sup>3</sup>/a

Rechenfall	Durchfluss durch das Grubengebäude		Fehlermass	d a v o n	
	[l/min]	[m <sup>3</sup> /Jahr]		Abfluss durch Nordstrecke	Abfluss bzw. Zufluss durch Doggerstrecke (Schacht K2)
			[%]	Negative Werte: Abfluss	Positive Werte: Zufluss
				[l/min]	[l/min]
R01	1.2	630	4	-0.03	0.2
R08	1.3	680	6	-0.04	0.25
R10	1.6	840	6	-0.04	0.4
R15	1.6	840	6	-0.04	0.6
R16	1.4	735	7	-0.04	0.4
R17	1.3	680	4	-0.03	0.25
R19	1.2	625	4	-0.03	0.2
R29	0.9	470	25	-0.03	0.4
R30	0.7	390	16	-0.03	0.2
R31	4.3	2260	21	-0.07	2.9
R32	2.5	1310	77	-0.27	3.2
R34	1.2	625	3	-0.03	0.25
R35	1.2	640	2	-0.03	0.25

Tab. 4-2 Durchfluss durch das Grubengebäude

Nr. der Bohrung	67	30	320	100	183	106	Total	%-Anteil
<b>TRAJEKTORIEN MIT TEILWEISEM VERLAUF IN BOHRUNGEN</b>								
- Obere Schicht	-	2	-	-	-	-	2	1.5 %
- Mittlere Schicht	-	-	-	-	-	-	0	0.0 %
- Untere Schicht	-	-	-	-	-	-	0	0.0 %
Total	0	2	0	0	0	0	2	
%-Anteil an Gesamtzahl	0.0 %	0.5 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.5 %	
<b>SCHICHTEINHEIT VOR EINTRITT IN BOHRUNG</b>								
Unterkreide								
- Obere Schicht	-	2	-	-	-	-		
- Mittlere Schicht	-	-	-	-	-	-		
- Untere Schicht	-	-	-	-	-	-		
Kimmeridge								
- Obere Schicht	-	-	-	-	-	-		
- Mittlere Schicht	-	-	-	-	-	-		
- Untere Schicht	-	-	-	-	-	-		
<b>TRAJEKTORIENVERLAUF NACH EINTRITT IN BOHRUNG (BIS ZUM ENDPUNKT)</b>								
Verbleibt in Bohrung	-	2	-	-	-	-		
Bohrung-Oberkreide	-	-	-	-	-	-		
Bohrung-Oberkr.-Quartär	-	-	-	-	-	-		
<b>LAUFZEITEN BIS EINTRITT IN BOHRUNG (Mio a)</b>								
Minimum	-	17.5	-	-	-	-		
Mittel	-	17.7	-	-	-	-		
Maximum	-	17.8	-	-	-	-		

Tab. 4-3 Rechenfall R34 (Referenzfall): Trajektorien der Gruppe B, mit teilweiseem Verlauf in Bohrungen

Bohrung	Alb	Unterkreide	Kimmeridge	Dogger
<b>BOHRUNGEN IM VERBREITUNGSGEBIET DES HILSSANDSTEINS</b>				
80	75.6	11.3	2E-06	2E-04
321	76.0	-5.5	-4E-06	
81	168.7	-0.002	-4E-06	
28	1.0	0.002	-2E-06	
70	0.002	-3E-04		
K101	0.001	-2E-04		-5E-06
71	91.5	4E-04		
Summe der Flüsse	412.8	5.8	-9E-06	2E-04
<b>BOHRUNGEN NÖRDLICH DER VERBREITUNGSGRENZE DES HILSSANDSTEINS</b>				
67	46.4	38.4	2E-05	3E-05
30	35.1	22.6	2E-06	
320	25.3	13.7	2E-06	
79	56.6	23.6		
166	8.3	0.002	8E-07	
100	113.0	109.8	3E-05	
183	53.9	52.6	1.5	
106/7/11	369.2	285.8	1.8	
Summe der Flüsse	707.8	546.5	3.3	3E-05
Gesamtfluss durch Die Bohrungen	1120.6	552.3	3.3	2E-04

## BEMERKUNGEN

+ aufwärtsgerichtete Flüsse

- abwärtsgerichtete Flüsse

Flüsse in m<sup>3</sup>/a1 l/min = 525 m<sup>3</sup>/a, 1000 m<sup>3</sup>/a = 1.9 l/minTab. 5-1 Rechenfall R16: Flüsse entlang Bohrungen in m<sup>3</sup>/a

Bohrung	Alb	Unterkreide	Kimmeridge	Dogger
<b>BOHRUNGEN IM VERBREITUNGSGEBIET DES HILSSANDSTEINS</b>				
80	75.6	11.4	7E-07	8E-05
321	76.1	-5.5	-2E-06	
81	168.7	-0.001	4E-10	
28	1.0	0.001	0E+00	
70	0.001	-2E-04		
K101	0.001	-2E-04		-6E-06
71	91.5	2E-04		
Summe der Flüsse	412.9	5.9	-1E-06	7E-05
<b>BOHRUNGEN NÖRDLICH DER VERBREITUNGSGRENZE DES HILSSANDSTEINS</b>				
67	46.6	38.7	0E+00	2E-05
30	35.1	22.7	1E-06	
320	25.4	13.7	6E-07	
79	56.6	23.6		
166	8.3	0.001	4E-07	
100	113.0	109.8	1E-05	
183	53.9	52.6	1.5	
106/7/11	369.5	285.9	1.8	
Summe der Flüsse	708.4	547.0	3.3	2E-05
Gesamtfluss durch die Bohrungen	1121.3	552.9	3.3	9E-05

## BEMERKUNGEN

+ aufwärtsgerichtete Flüsse

- abwärtsgerichtete Flüsse

Flüsse in m<sup>3</sup>/a1 l/min = 525 m<sup>3</sup>/a, 1000 m<sup>3</sup>/a = 1.9 l/minTab. 5-2 Rechenfall R29: Flüsse entlang Bohrungen in m<sup>3</sup>/a



	Bohrung 67 (Bleckenstedt 1)		Bohrung 100 (Üfingen 1)	
	Alb [m <sup>3</sup> /a]	Unterkreide [m <sup>3</sup> /a]	Alb [m <sup>3</sup> /a]	Unterkreide [m <sup>3</sup> /a]
R08	18.0	11.2	16.3	13.4
R10	147.1	138.0	140.4	137.2
R15	138.0	129.6	133.6	130.6
R16	46.4	38.4	113.0	109.8
R17	6.2	2.2	13.2	10.4
R19	0.7	0.07	1.7	0.5
R29	46.6	38.7	113.0	109.8
R30	0.001	4E-5	0.002	2E-4
R31	960.0	958.1	600.9	600.2
R32	3338.8	3338.8	510.0	509.3
R34	0.7	0.07	1.7	0.5
R35	0.7	0.06	1.7	0.5

Tab. 5-3 Flüsse in ausgewählten Bohrungen

Gruppierung der Trajektorien nach ihrem Verlauf						
Rechenfall	Lage der Startpunkte im Grubengebäude	A Normaler Austritt aus Modell	B Teilweiser Verlauf in Bohrung	%	C Rest	Total
R10	Obere Schicht	43	45	34.9	41	129
	Mittlere Schicht	48	21	16.3	60	129
	Untere Schicht	33	3	2.3	93	129
	Total	124	69	17.8	194	387
R15	Obere Schicht	47	26	20.2	56	129
	Mittlere Schicht	48	8	6.2	73	129
	Untere Schicht	27	2	1.6	100	129
	Total	122	36	9.3	229	387
R16	Obere Schicht	71	9	7.0	49	129
	Mittlere Schicht	57	5	3.9	67	129
	Untere Schicht	35	3	2.3	91	129
	Total	163	17	4.4	207	387
R17	Obere Schicht	76	7	5.4	46	129
	Mittlere Schicht	62	6	4.7	61	129
	Untere Schicht	28	0	0.0	101	129
	Total	166	13	3.4	208	387
R19	Obere Schicht	78	0	0.0	51	129
	Mittlere Schicht	74	0	0.0	55	129
	Untere Schicht	45	0	0.0	84	129
	Total	197	0	0.0	190	387
R29	Obere Schicht	47	4	3.1	78	129
	Mittlere Schicht	38	2	1.6	89	129
	Untere Schicht	30	2	1.6	97	129
	Total	115	8	2.1	264	387

Tab. 5-4 Klassifizierung aller Trajektorien

Gruppierung der Trajektorien nach ihrem Verlauf						
Rechenfall	Lage der Startpunkte im Grubengebäude	A Normaler Austritt aus Modell	B Teilweiser Verlauf in Bohrung	%	C Rest	Total
R30	Obere Schicht	30	0	0.0	99	129
	Mittlere Schicht	30	0	0.0	99	129
	Untere Schicht	30	0	0.0	99	129
	Total	90	0	0.0	297	387
R31	Obere Schicht	2	69	53.5	58	129
	Mittlere Schicht	3	82	63.6	44	129
	Untere Schicht	5	55	42.6	69	129
	Total	10	206	53.2	171	387
R32	Obere Schicht	9	31	24.0	89	129
	Mittlere Schicht	19	32	24.8	78	129
	Untere Schicht	29	24	18.6	76	129
	Total	57	87	22.5	243	387
R34	Obere Schicht	97	2	1.6	30	129
	Mittlere Schicht	69	0	0.0	60	129
	Untere Schicht	35	0	0.0	94	129
	Total	201	2	0.5	184	387
R35	Obere Schicht	113	0	3.1	16	129
	Mittlere Schicht	111	0	1.6	18	129
	Untere Schicht	113	0	1.6	16	129
	Total	337	0	2.1	50	387

Tab. 5-4 Klassifizierung aller Trajektorien (Fortsetzung)

Teilweiser Verlauf in Bohrung							
	67 Blecken- stedt 1	30 Saugingen 1	320 Saugingen 2	100 Uefingen 1	183 Alvesse 1	106/7/11 Vecheide 2,2a/3/4	Total
R10	55	8	1	3	2	0	69
R15	13	13	6	2	2	0	36
R16	1	4	2	10	0	0	17
R17	0	11	2	0	0	0	13
R19	0	0	0	0	0	0	0
R29	0	0	0	8	0	0	8
R30	0	0	0	0	0	0	0
R31	53	0	2	49	29	73	206
R32	14	0	0	54	8	12	88
R34	0	2	0	0	0	0	2
R35	0	0	0	0	0	0	0

Tab.5-5 Aufteilung der Fließwege nach Bohrungen

		67 Blecken- stedt 1	30 Sauingen 1	320 Sauingen 2	100 Uefingen 1	183 Alvesse 1	106/7/11 Vechelde 2,2a/3/4
R10	Minimum	0.03	0.13		0.55	0.5	--
	Mittel	0.58	0.44	0.33	10.4	0.52	--
	Maximum	1.7	1.1		22.5	0.53	--
R15	Minimum	0.04	0.14	0.22	12.8	0.44	--
	Mittel	0.82	0.49	0.27	22.1	0.47	--
	Maximum	2.0	1.3	0.32	31.3	0.49	--
R16	Minimum		0.24	0.34	11.2	--	--
	Mittel	0.14	0.44	0.47	19.4	--	--
	Maximum		0.66	0.6	37.4	--	--
R17	Minimum	--	0.64	5.0	--	--	--
	Mittel	--	0.91	5.1	--	--	--
	Maximum	--	1.4	5.2	--	--	--
R19	Minimum	--	--	--	--	--	--
	Mittel	--	--	--	--	--	--
	Maximum	--	--	--	--	--	--
R29	Minimum	--	--	--	11.3	--	--
	Mittel	--	--	--	12.3	--	--
	Maximum	--	--	--	17.5	--	--
R30	Minimum	--	--	--	--	--	--
	Mittel	--	--	--	--	--	--
	Maximum	--	--	--	--	--	--
R31	Minimum	0.002	--	0.07	0.07	0.03	0.02
	Mittel	0.10	--	0.08	29.6	3.2	0.11
	Maximum	0.79	--	0.09	89.0	6.7	4.2
R32	Minimum	0.01	--	--	0.13	12.5	0.03
	Mittel	3.07	--	--	14.5	12.5	0.14
	Maximum	41.9	--	--	23.4	12.5	0.26
R34	Minimum	--	17.5	--	--	--	--
	Mittel	--	17.7	--	--	--	--
	Maximum	--	17.8	--	--	--	--
R35	Minimum	--	--	--	--	--	--
	Mittel	--	--	--	--	--	--
	Maximum	--	--	--	--	--	--

Tab. 5-6 Laufzeiten der durch Bohrungen verlaufenden Trajektorien in Mio. Jahren

Nr. der Bohrung	67	30	320	100	183	106	Total	%-Anteil
<b>TRAJEKTORIEN MIT TEILWEISEM VERLAUF IN BOHRUNGEN</b>								
- Obere Schicht	1	4	2	2	-	-	9	7.0 %
- Mittlere Schicht	-	-	-	5	-	-	5	3.9 %
- Untere Schicht	-	-	-	3	-	-	3	2.3 %
Total	1	4	2	10	0	0	17	
%-Anteil an Gesamtzahl	0.3 %	1.0 %	0.5 %	2.6 %	0.0 %	0.0 %	4.4 %	
<b>SCHICHTEINHEIT VOR EINTRITT IN BOHRUNG</b>								
<b>Unterkreide</b>								
- Obere Schicht	-	4	2	2	-	-		
- Mittlere Schicht	-	-	-	5	-	-		
- Untere Schicht	-	-	-	3	-	-		
<b>Kimmeridge</b>								
- Obere Schicht	1	-	-	-	-	-		
- Mittlere Schicht	-	-	-	-	-	-		
- Untere Schicht	-	-	-	-	-	-		
<b>TRAJEKTORIENVERLAUF NACH EINTRITT IN BOHRUNG (BIS ZUM ENDPUNKT)</b>								
<b>Verbleibt in Bohrung</b>								
Bohrung-Oberkreide	-	-	2	-	-	-		
Bohrung-Oberkr.-Quartär	-	4	-	-	-	-		
	1	-	-	10	-	-		
<b>LAUFZEITEN BIS EINTRITT IN BOHRUNG (Mio a)</b>								
Minimum	0.14	0.24	0.34	11.2	-	-		
Mittel	0.14	0.44	0.47	19.4	-	-		
Maximum	0.14	0.66	0.60	37.4	-	-		

Tab. 5-7 Rechenfall R16 : Trajektorien der Gruppe B, mit teilweisem Verlauf in Bohrungen

Nr. der Bohrung	67	30	320	100	183	106	Total	%-Anteil
<b>TRAJEKTORIEN MIT TEILWEISEM VERLAUF IN BOHRUNGEN</b>								
- Obere Schicht	-	-	-	4	-	-	4	3.1 %
- Mittlere Schicht	-	-	-	2	-	-	2	1.6 %
- Untere Schicht	-	-	-	2	-	-	2	1.6 %
Total	0	0	0	8	0	0	8	
%-Anteil an Gesamtzahl	0.0 %	0.0 %	0.0 %	2.1 %	0.0 %	0.0 %	2.1 %	
<b>SCHICHTEINHEIT VOR EINTRITT IN BOHRUNG</b>								
Unterkreide								
- Obere Schicht	-	-	-	4	-	-		
- Mittlere Schicht	-	-	-	2	-	-		
- Untere Schicht	-	-	-	2	-	-		
Kimmeridge								
- Obere Schicht	-	-	-	-	-	-		
- Mittlere Schicht	-	-	-	-	-	-		
- Untere Schicht	-	-	-	-	-	-		
<b>TRAJEKTORIENVERLAUF NACH EINTRITT IN BOHRUNG (BIS ZUM ENDPUNKT)</b>								
Verbleibt in Bohrung								
Bohrung-Oberkreide	-	-	-	-	-	-		
Bohrung-Oberkr.-Quartär	-	-	-	8	-	-		
<b>LAUFZEITEN BIS EINTRITT IN BOHRUNG (Mio. a)</b>								
Minimum	-	-	-	11.3	-	-		
Mittel	-	-	-	12.3	-	-		
Maximum	-	-	-	17.5	-	-		

Tab. 5-8 Rechenfall R29: Trajektorien der Gruppe B, mit teilweise Verlauf in Bohrungen

Fluesswege zu Bohrungen				
	Gemäss Modell-rechnungen		Tatsächlich und potentiell	
	Anzahl	%	Anzahl	%
R10	69	18	102	26
R15	36	9	46	12
R16	17	4	31	8
R17	13	3	27	7
R29	8	2	107	28
R31	206	53	327	84
R32	88	23	302	78
R34	2	0.5	2	0.5

Tab. 5-9 Statistik der potentiellen Fluesswege nach Bohrungen



MODELLDATEN	[Nr.]
Oxford-Element beim Austritt aus dem Grubengebäude	4440
Zugehörige Fläche im Dach bzw. in der Seitenwand des Grubengebäudes	4
TRAJEKTORIEN	[Anz.]
Anzahl der die Fläche 4 querenden Trajektorien	38
davon zur Bohrung 30 verlaufend	2
EXFILTRATION	[m <sup>3</sup> /a]
Exfiltration durch die Fläche 4	75.6
Aufteilung der Exfiltration	
- nach Bohrung 30	4.0
- ins übrige Modellgebiet	71.6
WASSERFLUSS IN DEN BOHRUNGEN	[m <sup>3</sup> /a]
Wasserfluss entlang Bohrung 30 im Alb	0.9
Aus dem Grubengebäude stammendes Wasser	4.0
Anteil des aus dem Grubengebäude stammenden Wassers am Gesamtfluss des aus den einzelnen Bohrungen in die Oberkreide austretenden Wassers	[%]
	100

MODELLEDATEN	[Nr.]	[Nr.]	[Nr.]	
Oxford-Element beim Austritt aus dem Grubengebäude	4440	4857	4475	
Zugehörige Fläche im Dach bzw. in der Seitenwand des Grubengebäudes	4	10	302	
TRAJEKTORIEN	[Anz.]	[Anz.]	[Anz.]	
Anzahl der die Flächen 4, 10 und 302 querenden Trajektorien				
nach Bohrung 67	-	1	-	
nach Bohrung 30	4	-	-	
nach Bohrung 320	2	-	-	
nach Bohrung 100	-	-	10	
ins übrige Modellgebiet	2	-	38	
insgesamt	8	1	48	
EXFILTRATION	[m <sup>3</sup> /a]	[m <sup>3</sup> /a]	[m <sup>3</sup> /a]	[m <sup>3</sup> /a]
Exfiltration durch die Flächen 4, 10 und 302	98.9	22.8	30.5	Ins-gesamt:
Aufteilung der Exfiltration				
nach Bohrung 67	-	22.8	-	22.8
nach Bohrung 30	49.5	-	-	49.5
nach Bohrung 320	24.7	-	-	24.7
nach Bohrung 100	-	-	8.0	8.0
ins übrige Modellgebiet	24.7	0.0	22.5	47.2
Insgesamt	98.9	22.8	30.5	152.2
WASSERFLUSS IN DEN BOHRUNGEN	[m <sup>3</sup> /a]	[m <sup>3</sup> /a]	[m <sup>3</sup> /a]	[m <sup>3</sup> /a]
Nr. der Bohrung	67	30	320	100
Wasserfluss entlang den Bohrungen im Alb	46.3	35.1	25.3	112.9
Aus dem Grubengebäude stammendes Wasser	22.8	49.5	24.7	8.0
Anteil des aus dem Grubengebäude stammenden Wassers am Gesamtfluss des aus den einzelnen Bohrungen in die Oberkr. austretenden Wassers	[%]	[%]	[%]	[%]
	50	100	100	7

Tab. 5-11 Rechenfall R16: Verdünnungsrechnung 1

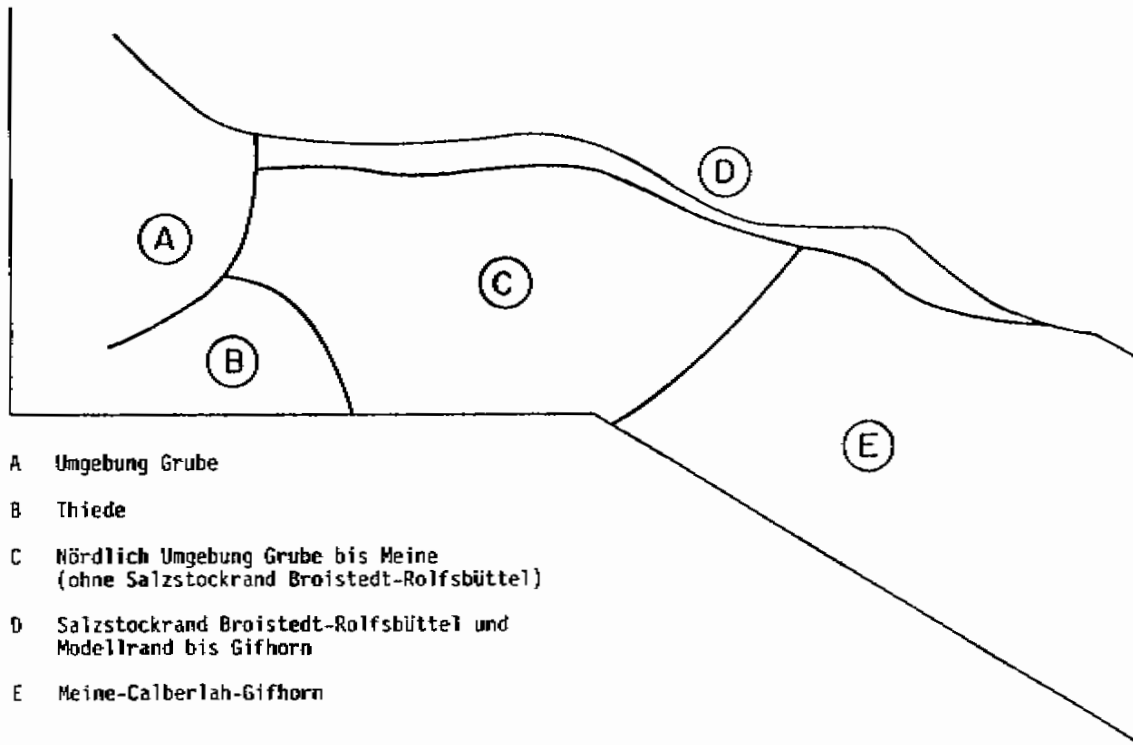
MODELLDATEN	[Nr.]	[Nr.]	[Nr.]	[Nr.]
Oxford-Element beim Austritt aus dem Grubengebäude	4261	4276	4410	4475
Zugehörige Fläche im Dach bzw. in der Seitenwand des Grubengebäudes	29	31	16	302
TRAJEKTORIEN	[Anz.]	[Anz.]	[Anz.]	[Anz.]
Anzahl der die Flächen 29, 31, 16 und 302 querenden Trajektorien davon zur Bohrung 100 verlaufend	18 3	8 1	15 3	4 1
EXFILTRATION	[m <sup>3</sup> /a]	[m <sup>3</sup> /a]	[m <sup>3</sup> /a]	[m <sup>3</sup> /a]
Exfiltration durch die Flächen	0.11	0.05	1.57	21.9
Aufteilung der Exfiltration				
- nach Bohrung 100	0.02	0.01	0.31	5.5
- ins übrige Modellgebiet	0.09	0.04	1.25	16.4
WASSERFLUSS IN DEN BOHRUNGEN	[m <sup>3</sup> /a]			
Wasserfluss entlang Bohrung 100 im Alb	110			
Aus dem Grubengebäude stammendes Wasser	5.8			
Anteil des aus dem Grubengebäude stammenden Wassers am Gesamtfluss des aus den einzelnen Bohrungen in die Oberkreide austretenden Wassers	[%]			
	5			

Tab. 5-12 Rechenfall R29: Verdünnungsrechnung 1

	Schnitt A	Schnitt B	Schnitt C	Schnitt D
Emscher Mergel	0.1	0.3	1.0	0.3
Oberkreide	441.9	-9.4	20.6	
Hilssandstein	22.3	4.0		
Kimmeridge		0.6	5.3	3.6
Oxford und Grubengebäude	0.5	3.7	2.1	2.6
Cornbrash-Sandstein	2.8	3.2	2.1	3.9
Insgesamt	467.6	2.4	31.2	10.4

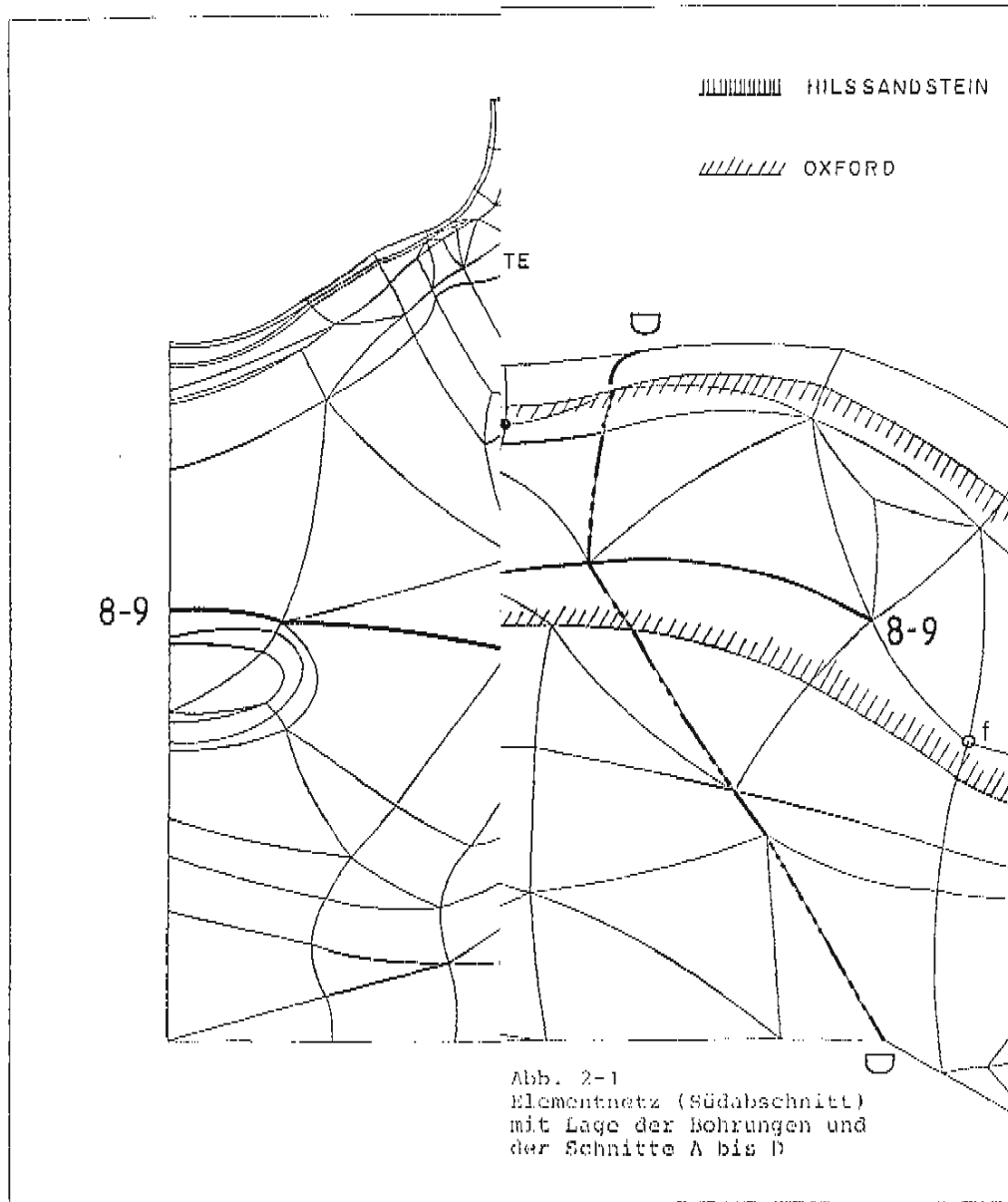
+ Nettofluss nach Norden  
 - Nettofluss nach Süden

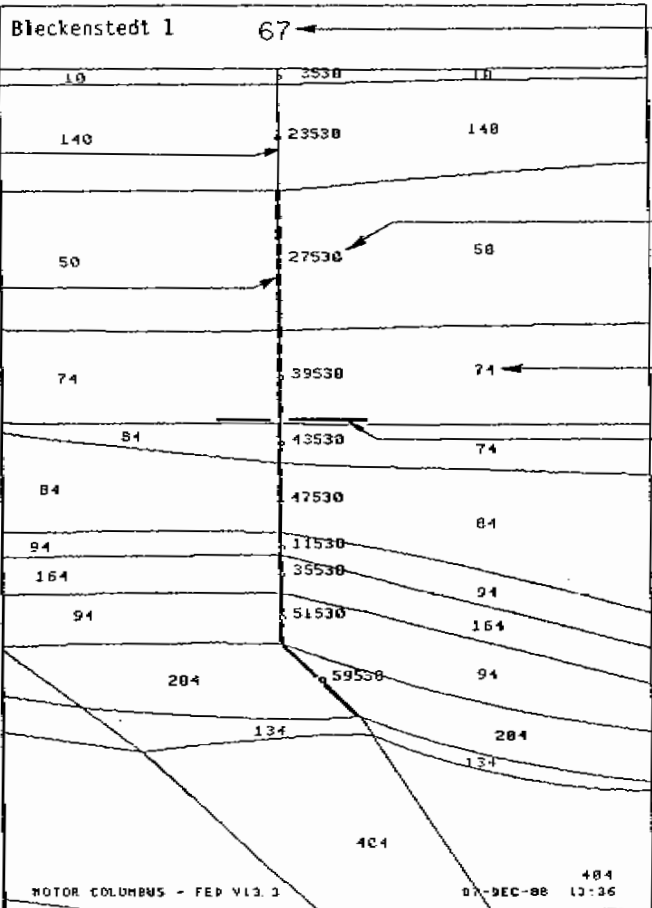
Tab. 5-13 Rechenfall R16: Flüsse durch die Schnitte A bis D in l/min



- A Umgebung Grube
- B Thiede
- C Nördlich Umgebung Grube bis Meine  
(ohne Salzstockrand Broistedt-Rolfsbüttel)
- D Salzstockrand Broistedt-Rolfsbüttel und  
Modellrand bis Gifhorn
- E Meine-Calberlah-Gifhorn

Abb. 1-1 Gebietseinteilung





Bohrung Nr.

Knoten-Nr.  
(in Schichtmitte)

K-Klasse

Obergrenze des versetzten Bohrabschnittes in Bohrung 67 (Dok. [41]), Versatz 44 %

25

unversetzt

versetzt

Durchlässig (R30, R34, R35)

Wenig durchlässig (R30, R34, R35)

Abb. 2-2  
Schnitt 398 mit der Bohrung 67

MOTOR COLUMBUS - FEB VI 3 J

07-DEC-88 13:36

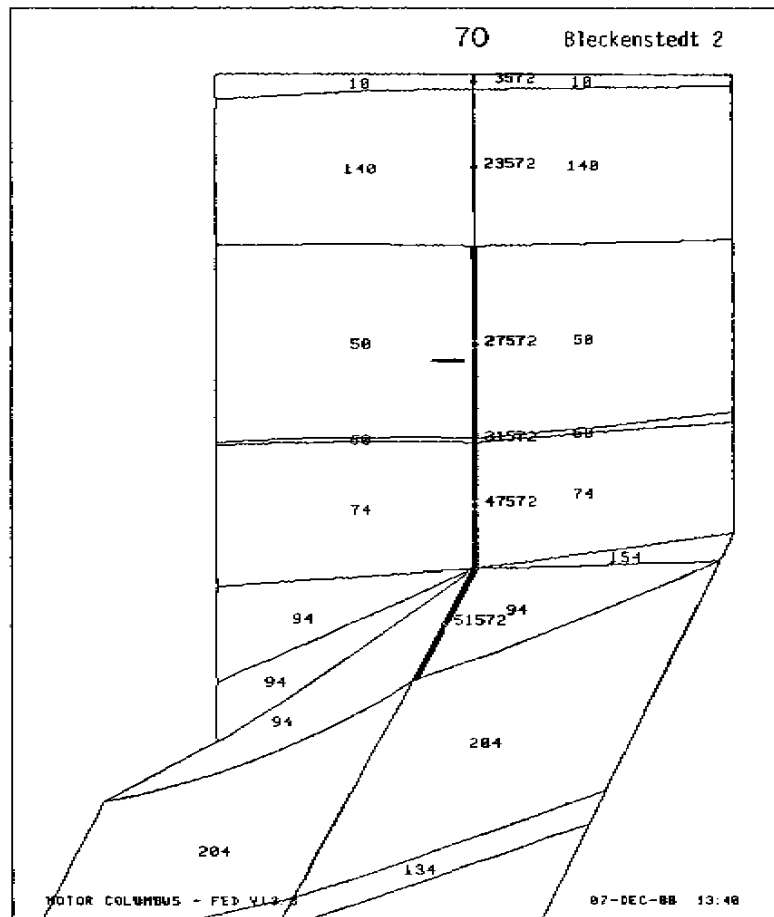


Abb. 2-3  
Schnitt 422 mit der Bohrung 70



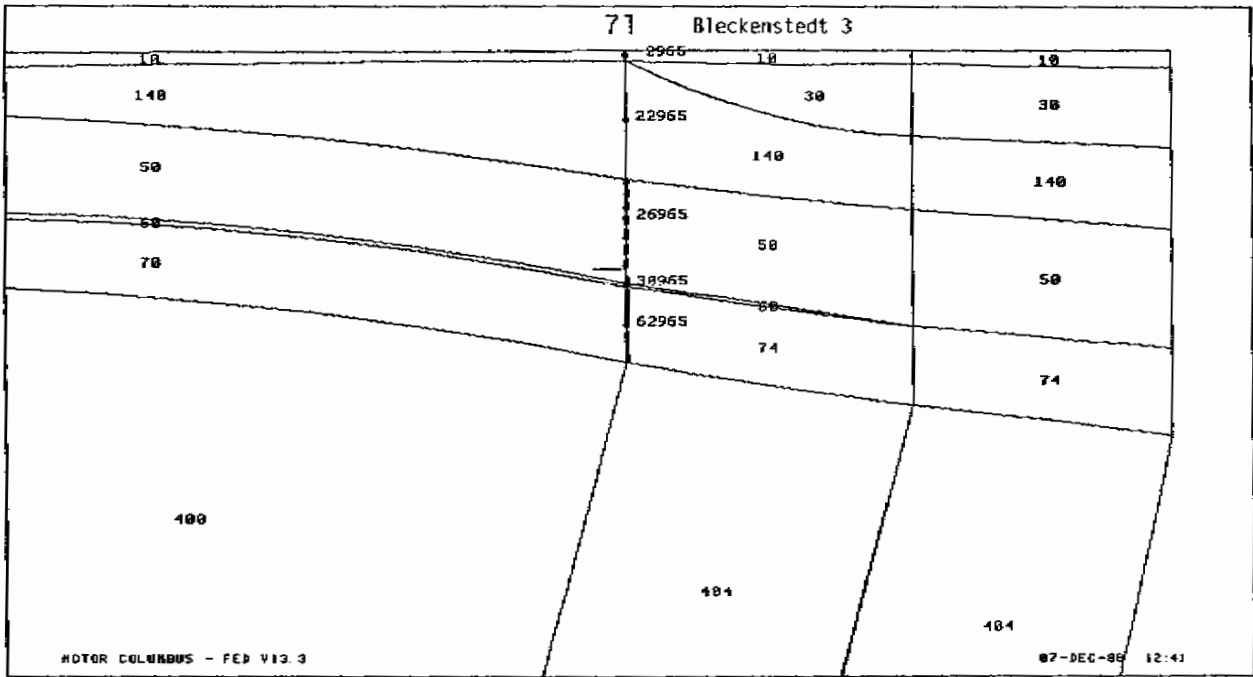


Abb. 2-4 Schnitt 376 mit der Bohrung 71

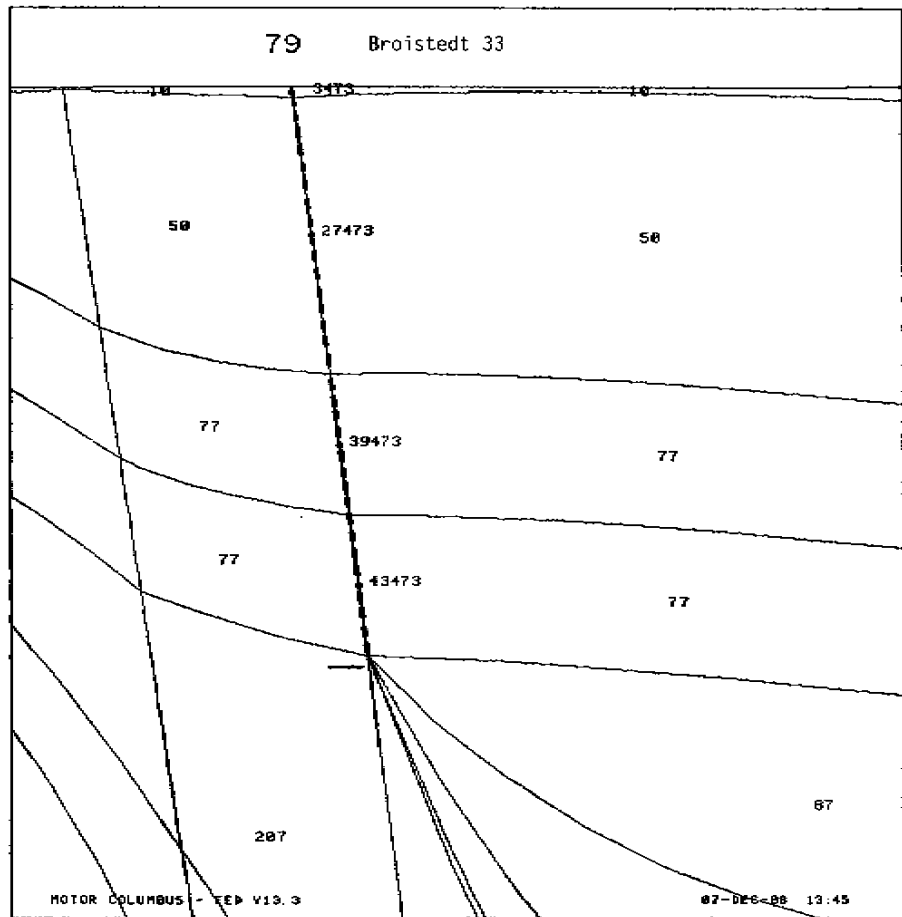
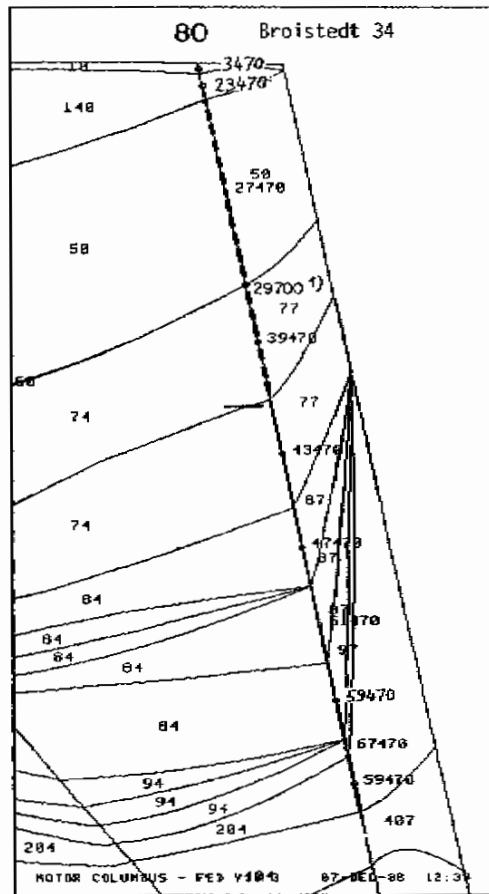
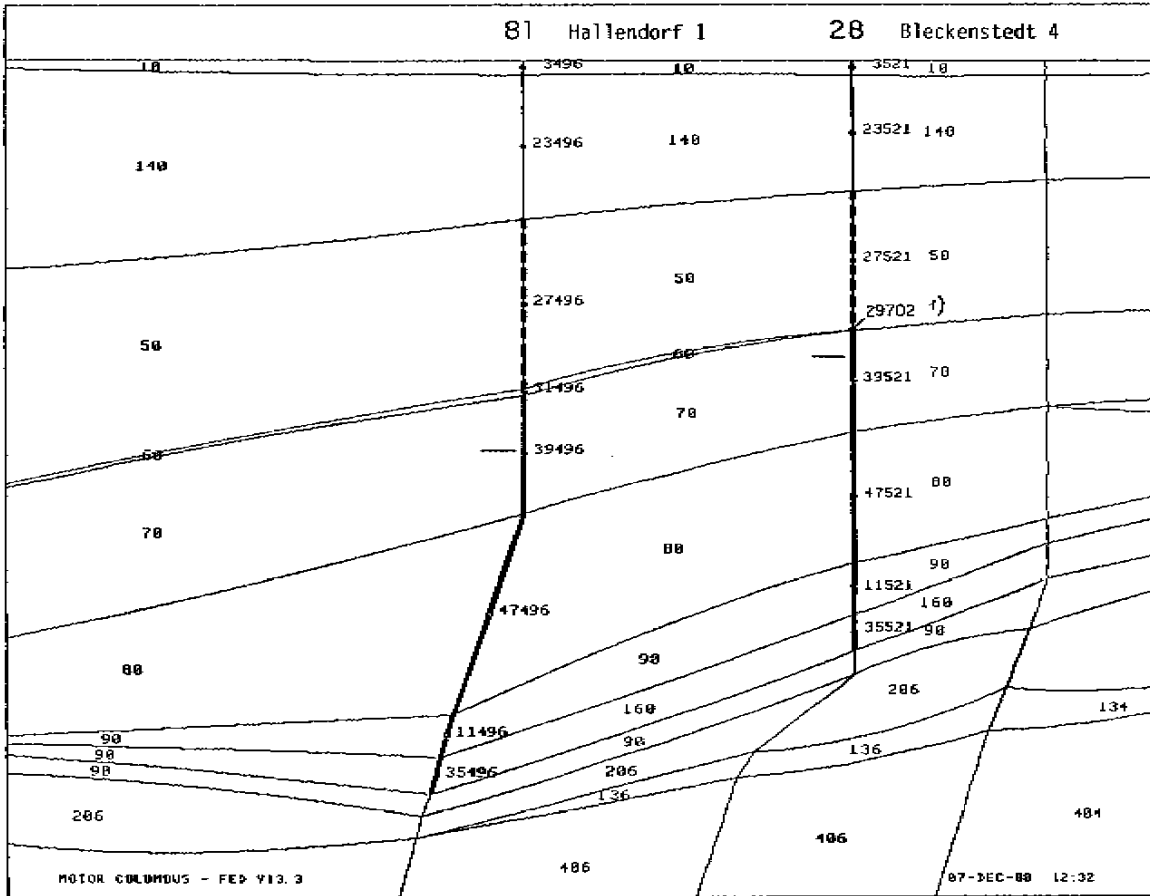


Abb. 2-5  
Schnitt 448 mit der Bohrung 79



1) Rechenfall R10:  
 Bg. 80 mit Verbindung zum  
 Hilssandstein.  
 Rechenfälle R15 bis R17:  
 Verbindung zum Hilssandstein  
 unterbrochen

Abb. 2-6  
 Schnitt 374 mit der Bohrung 80



1) Bohrung 28:  
Verbindung  
zum Hilssand-  
stein unter-  
brochen

30

Abb. 2-7 Rechenfälle R15 ff: Schnitt 316 mit den Bohrungen 28 und 81

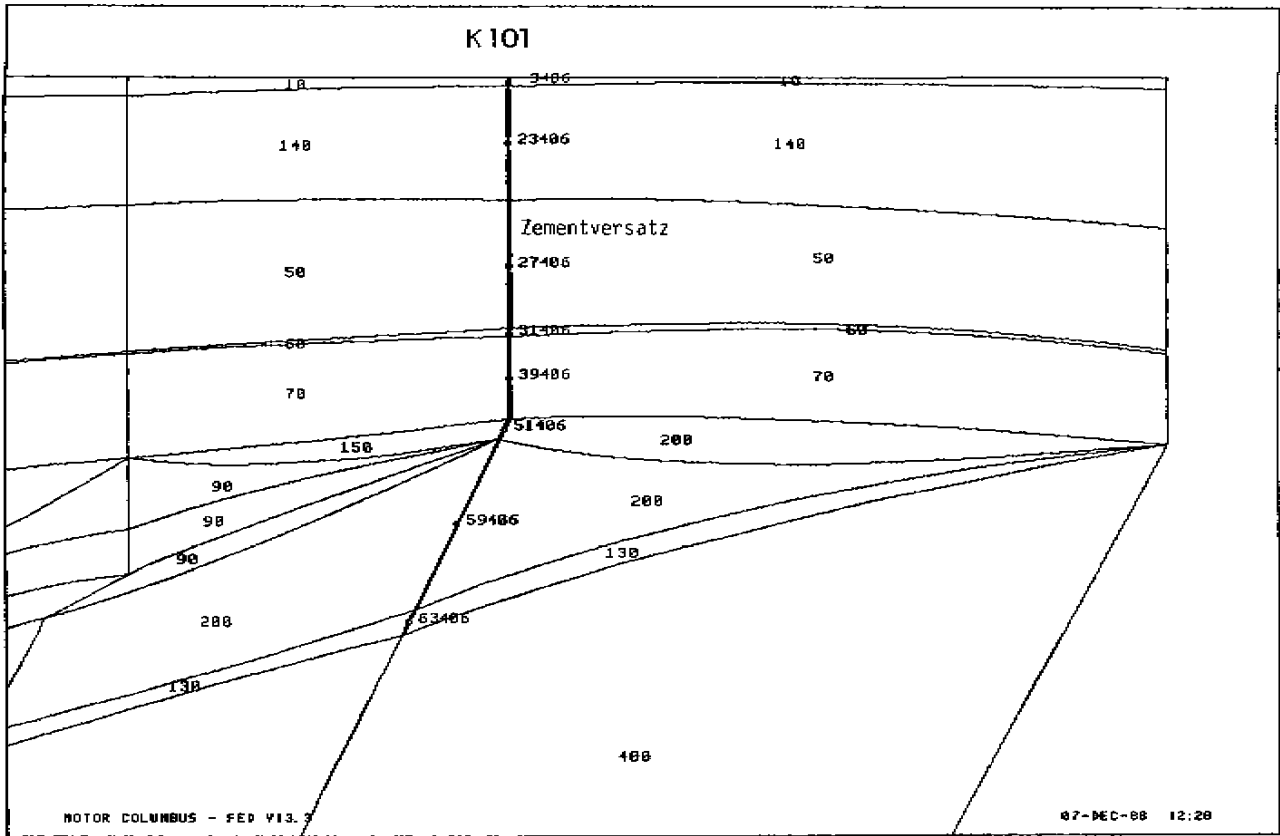


Abb. 2-8 Rechenfälle R15 ff: Schnitt 314 mit der Bohrung K101

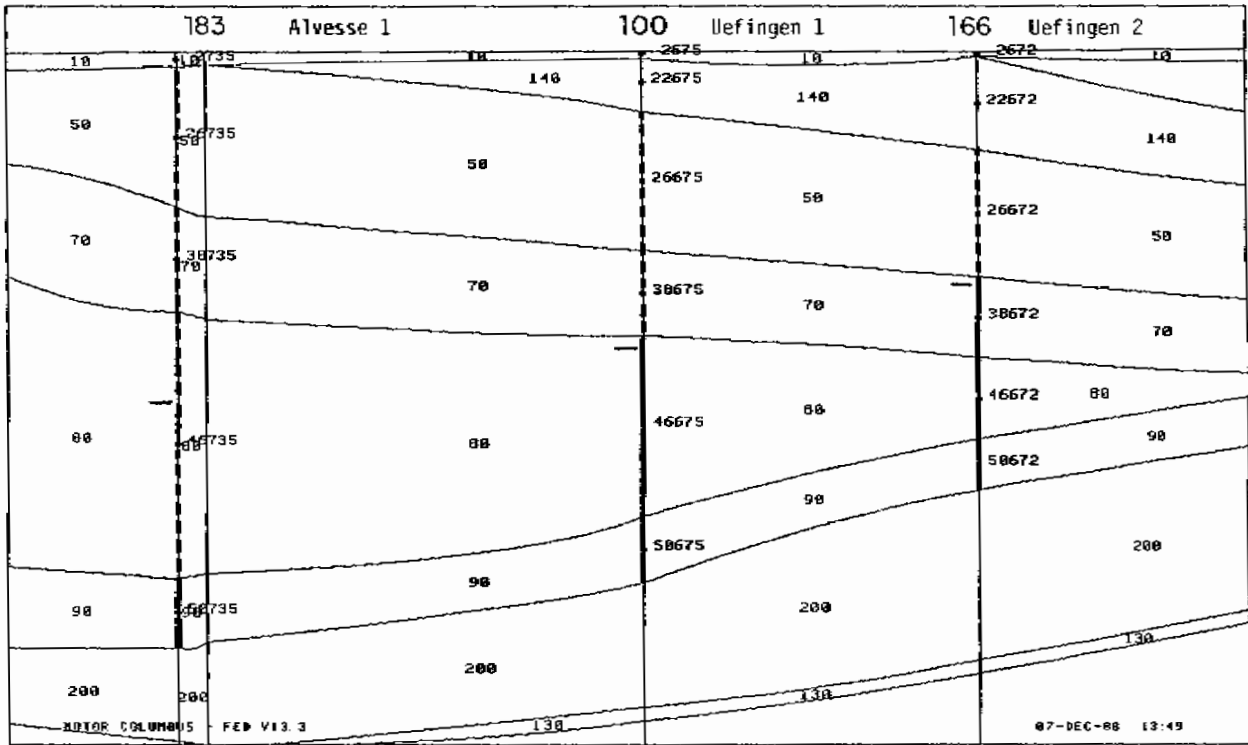
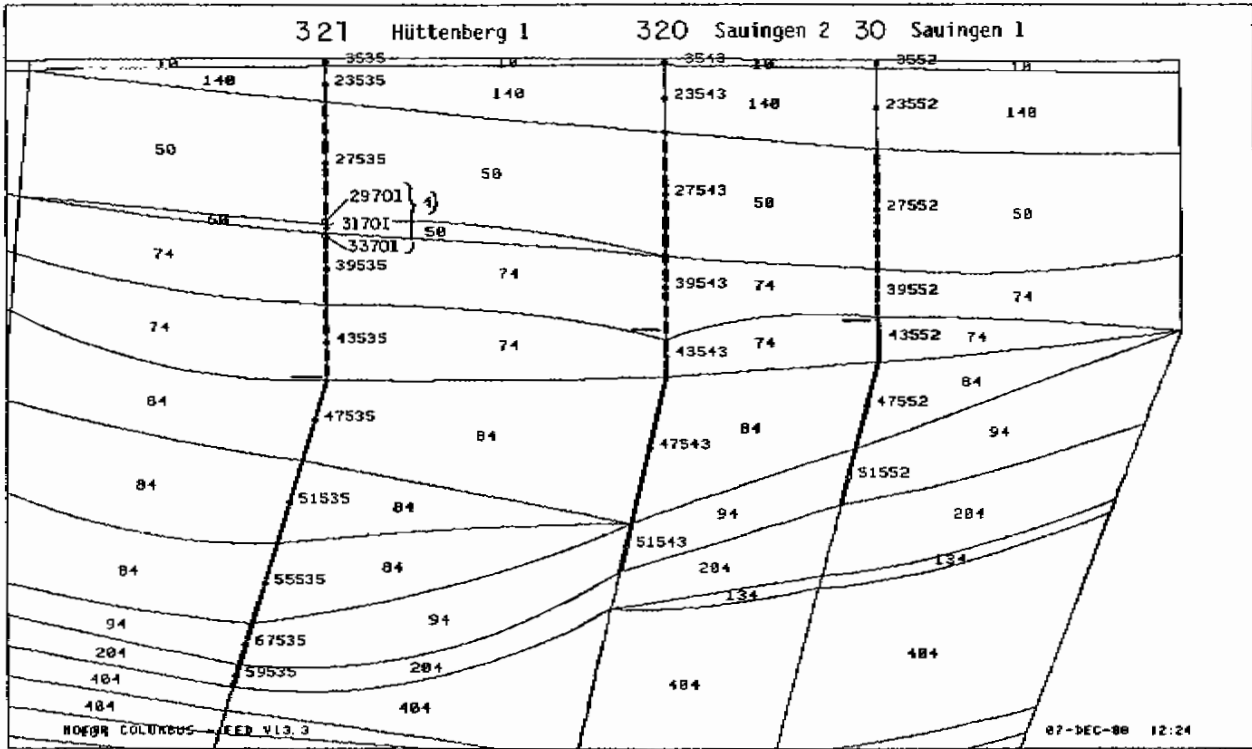


Abb. 2-9 Rechenfälle R15 ff: Schnitt 507 mit den Bohrungen 100, 166 und 183



1) Rechenfall R10: Bohrung 321 mit Verbindung zum Hilssandstein. Rechenfälle R15 bis R17, Knoten 29701, 31701, 33701: Verbindung der Bohrung 321 zum Hilssandstein unterbrochen

Abb. 2-10 Schnitt 312 mit den Bohrungen 30, 320 und 321

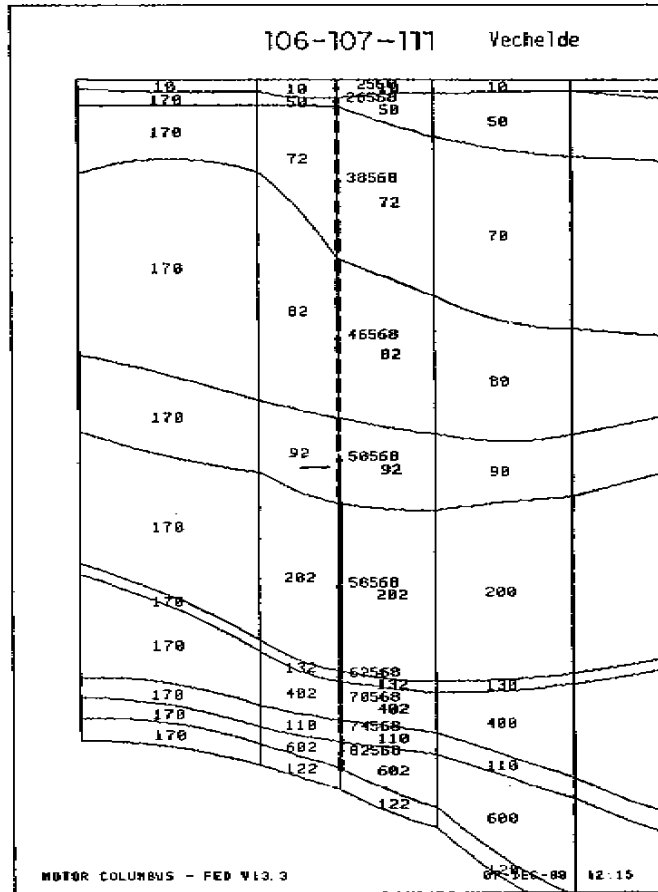
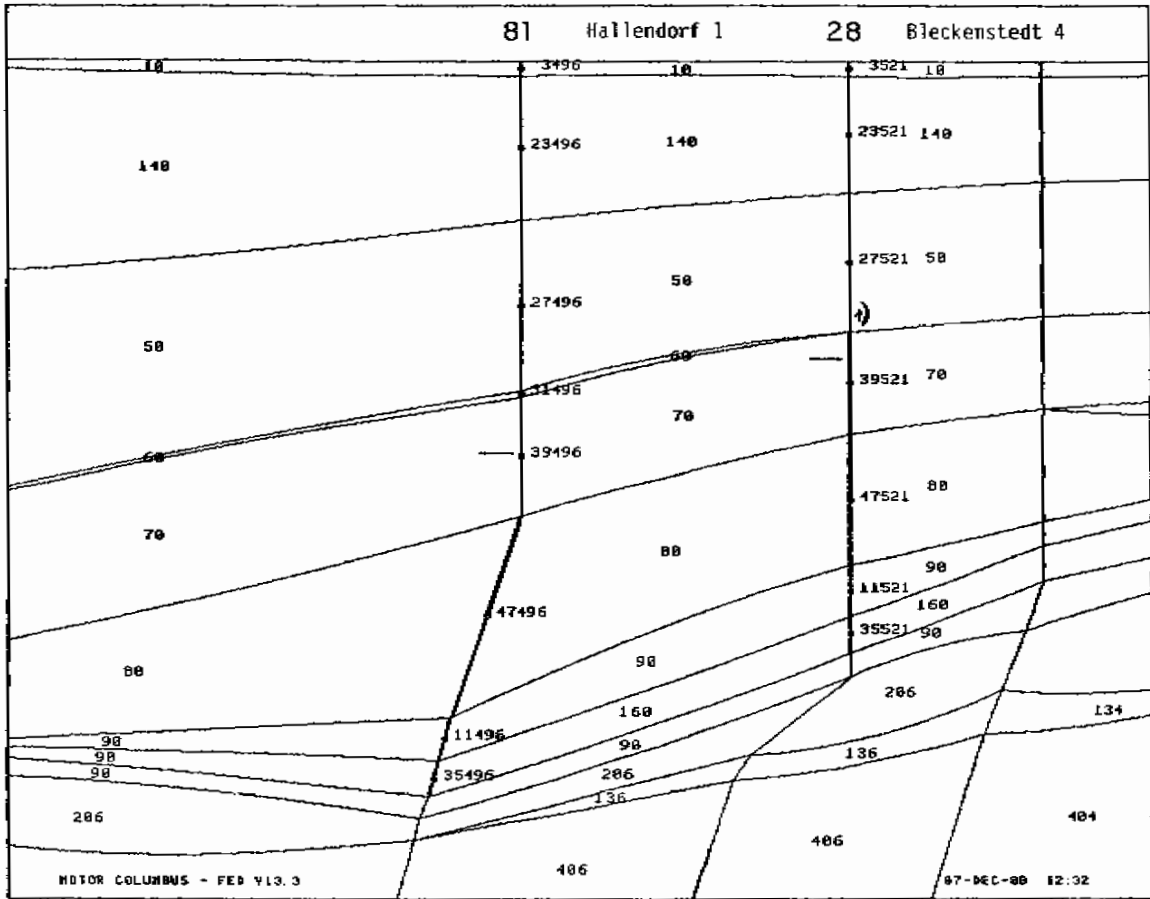


Abb. 2-11  
Schnitt 304 mit den Bohrungen  
106-107-111





1) Bohrung 28  
mit Verbindung  
zum Milsandstein

Abb. 2-12 Rechenfall R10: Schnitt 316 mit den Bohrungen 28 und 81

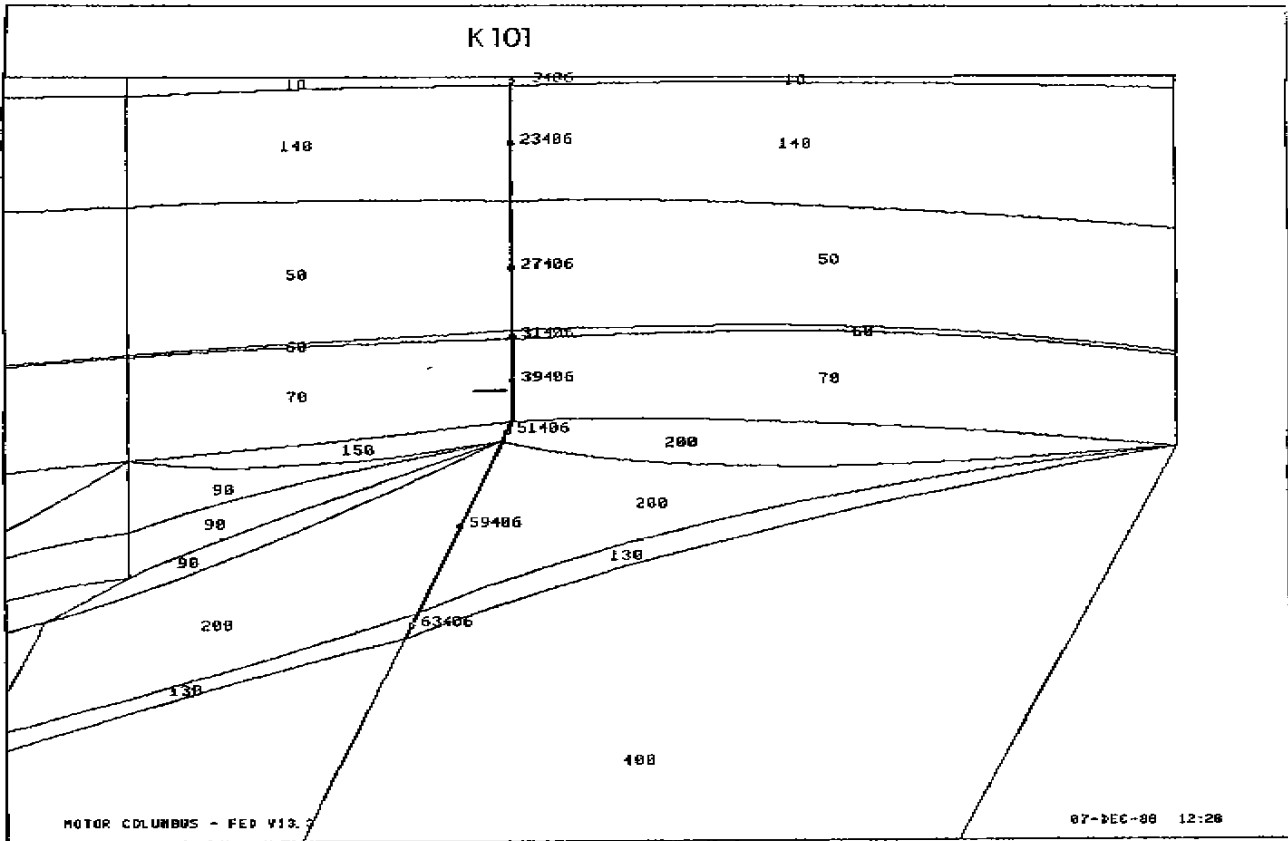
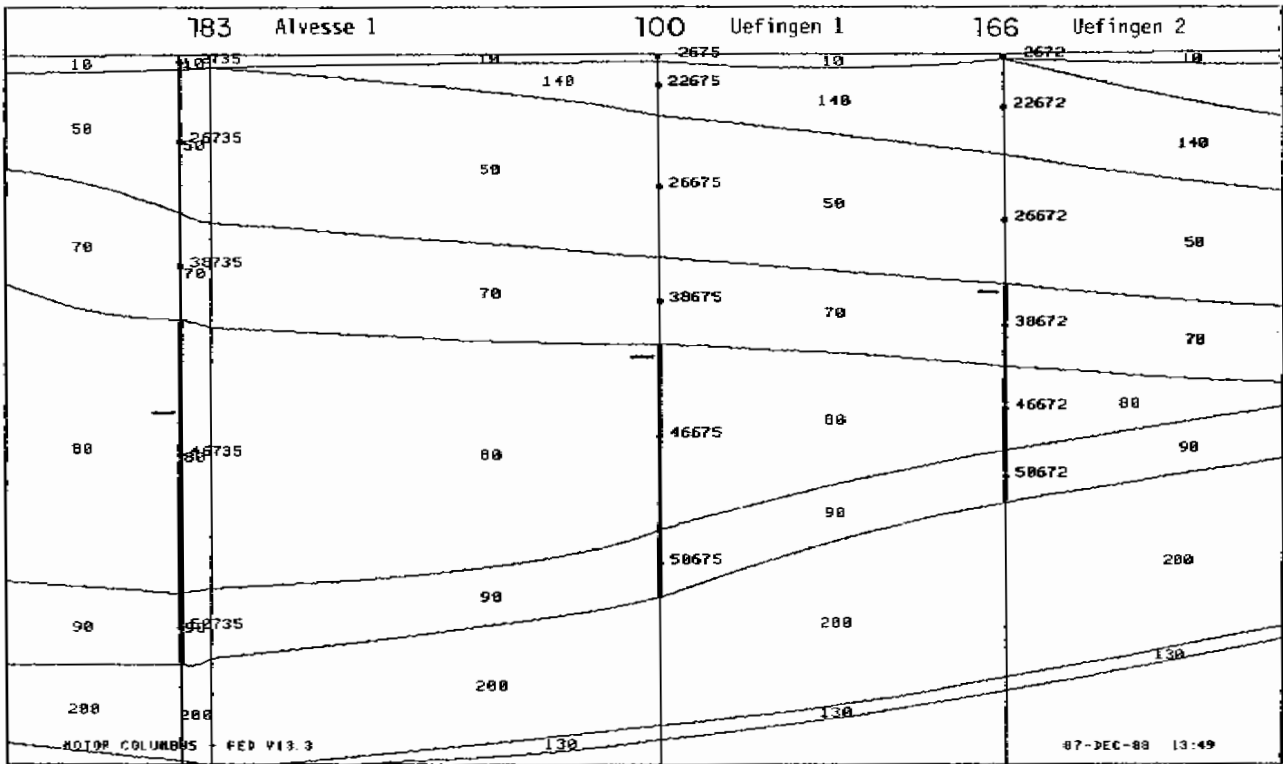


Abb. 2-13 Rechenfall R10: Schnitt 314 mit der Bohrung K101



37

Abb. 2-14 Rechenfall R10: Schnitt 507 mit den Bohrungen 100, 166 und 183

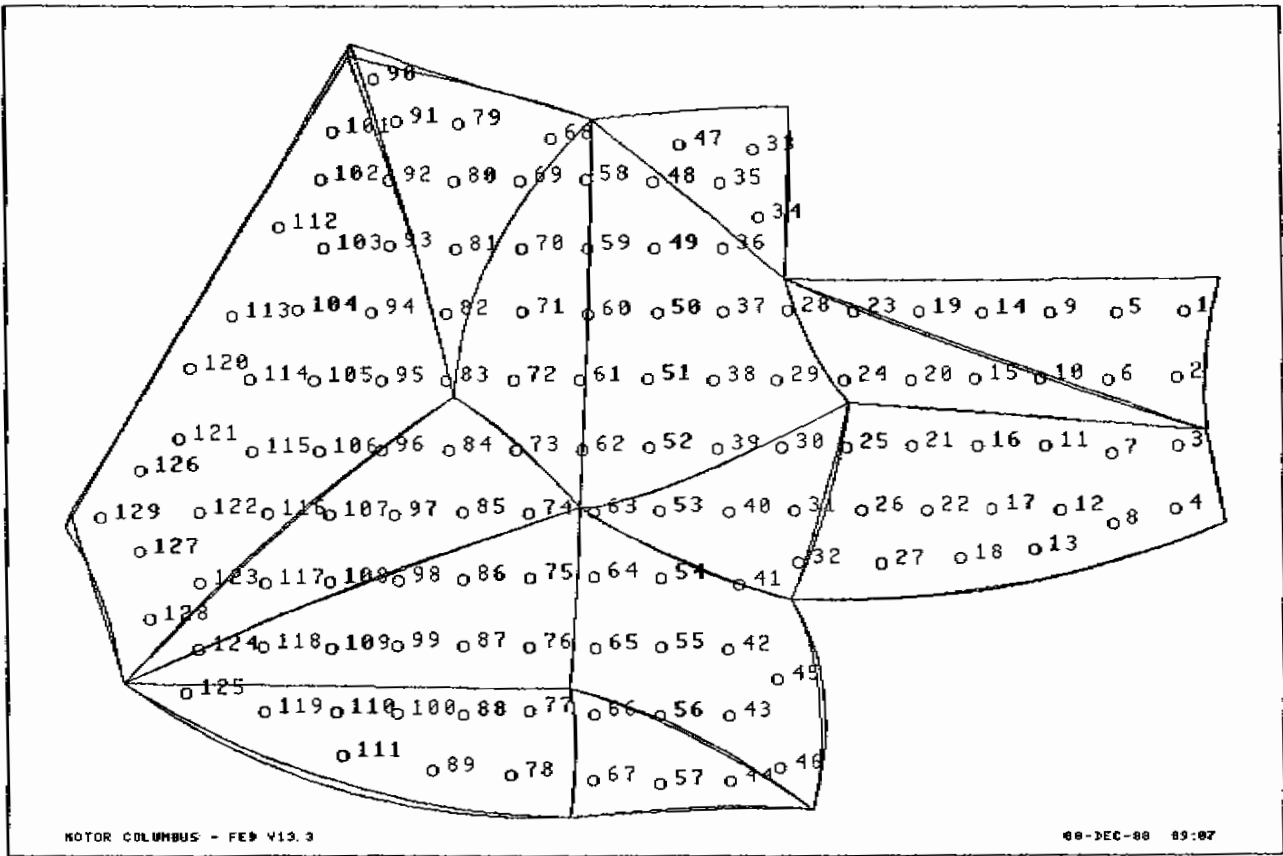


Abb. 2-15 Startpunkte der Trajektorien im Grubengebäude

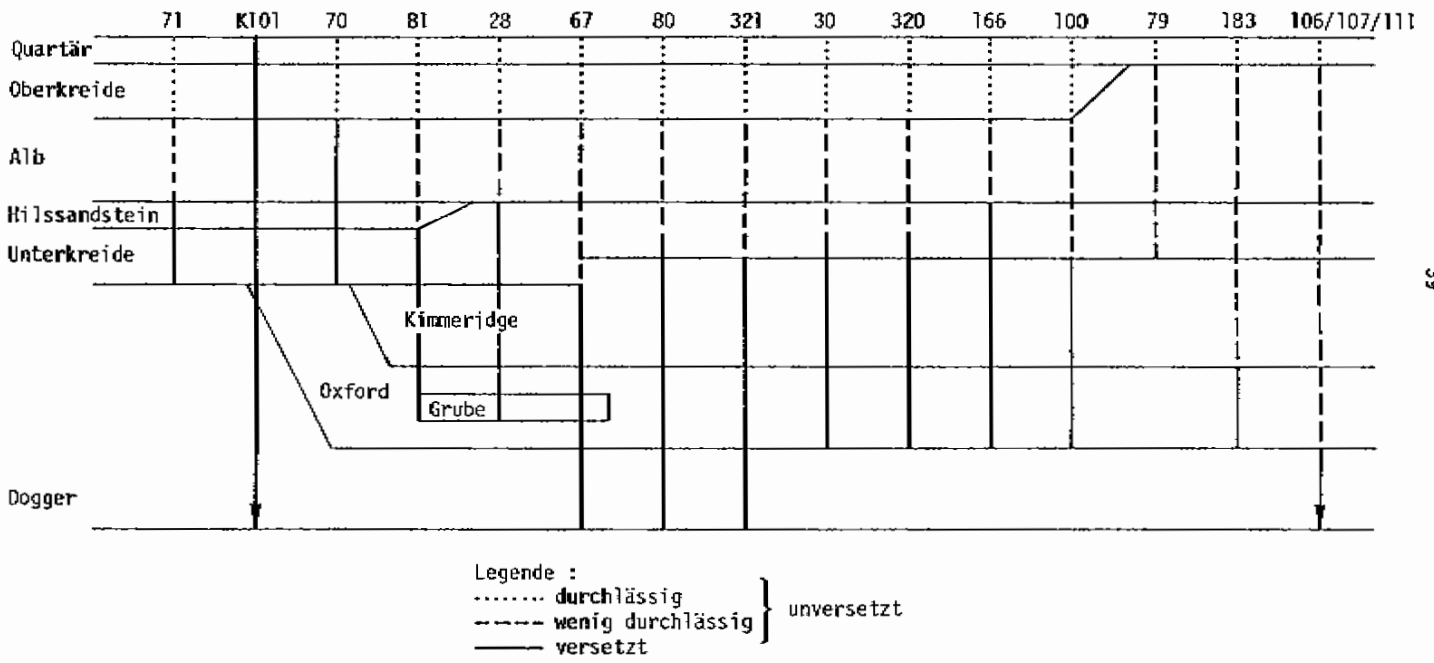
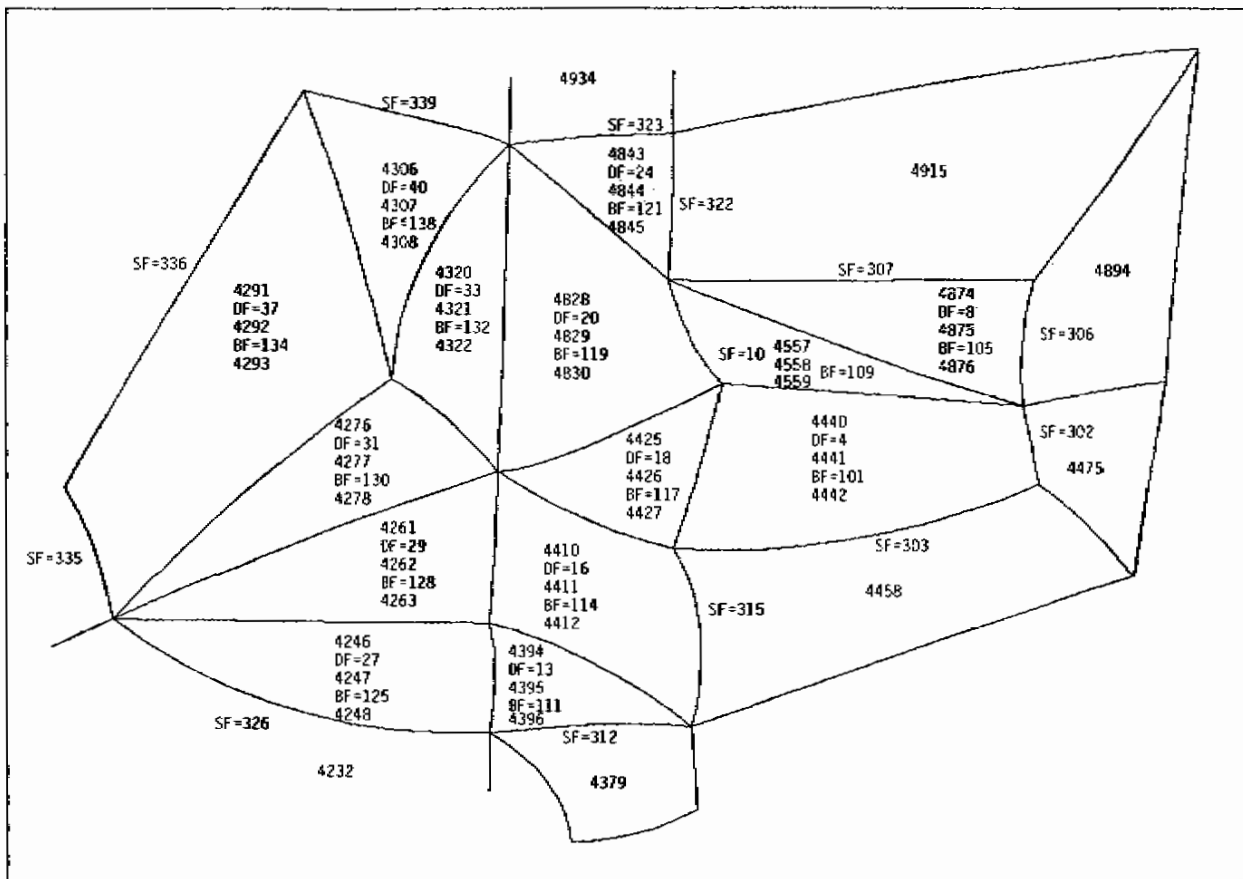


Abb. 2-16: Schematische Übersicht der modellierten Bohrungen



**Legende**

Elemente im Bereich des Grubengebäudes

4291 Oxford-El. im Hangenden der Grube

4292 Grubenelement

4293 Oxford-El. im Liegenden der Grube

Seitlich angeschlossen an Grubengebäude

4458 Oxford-Element, seitlich an Grubenelement

anschliessend

4459 Anschliessendes El. im Liegenden

4460 Anschliessendes El. im Hangenden

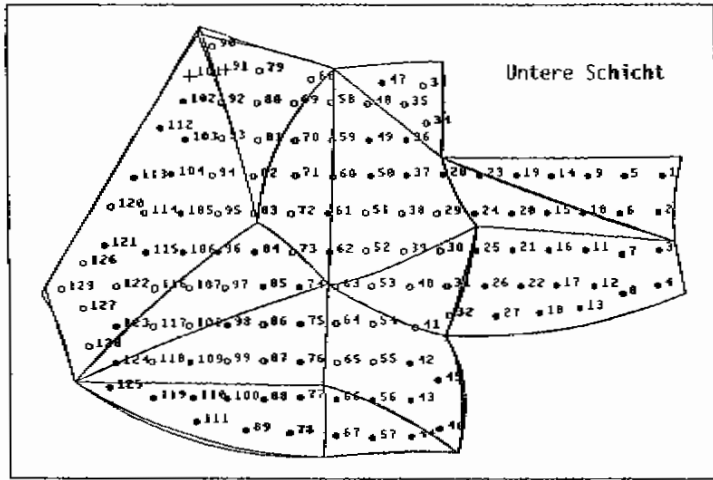
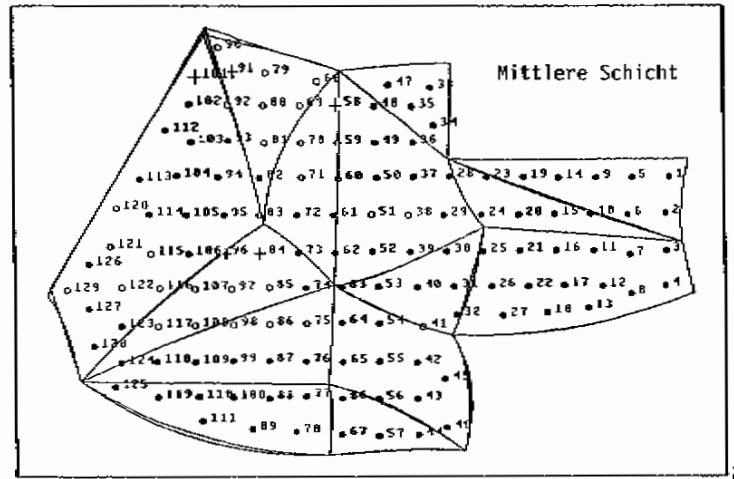
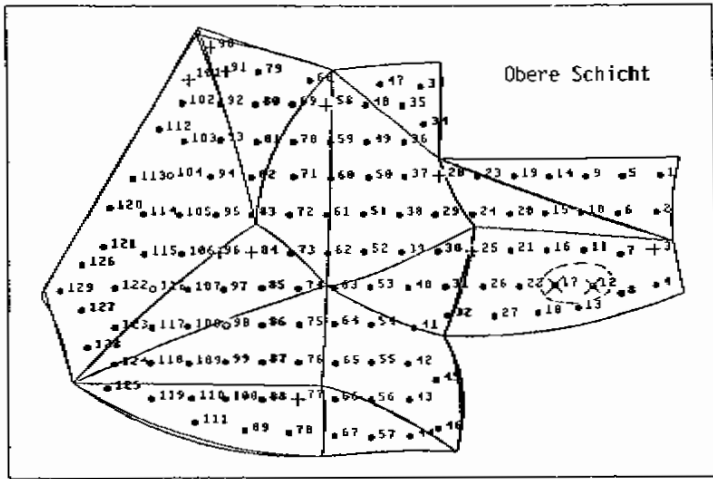
Begrenzungsflächen des Grubengebäudes

DF Deckfläche

BF Bodenfläche

SF Seitenfläche

Abb. 4-1: Gruben-Elemente, Begrenzungsflächen des Grubengebäudes, an Grube anstossende Oxford-Elemente



- Fließwege mit Endpunkt in Bohrungen:**
- Bohrung 67
  - Bohrung 30
  - Bohrung 100
  - Bohrung 183
  - Bohrung 320
  - Bohrung 106/77/111
  - Durch Bohrungen entwässerte Bereiche
  - Fließwege mit Austritt aus Modellrand oder mit Laufzeiten > 1 Mio Jahre und/oder mit Endpunkt im Dogger, Cornbrash-Sandstein oder Lias
  - Fließwege mit Laufzeiten < 1 Mio Jahre, das Grubengebäude nach unten verlassend
  - Fließwege mit Laufzeiten < 1 Mio Jahre, das Grubengebäude nach oben oder seitlich verlassend
  - Fließwege mit Abbruch innerhalb des Grubengebäudes

Abb. 4-2: Rechenfall R34 (Referenzfall): Bestimmung der potentiellen Fließwege nach Bohrungen

**GRUBENDURCHFLUSS – DURCHLAESSIGKEIT DER BOHRUNGEN**  
**BOHRUNGEN IM ALB UND UNTERKREIDE (UNVERSETZT)**

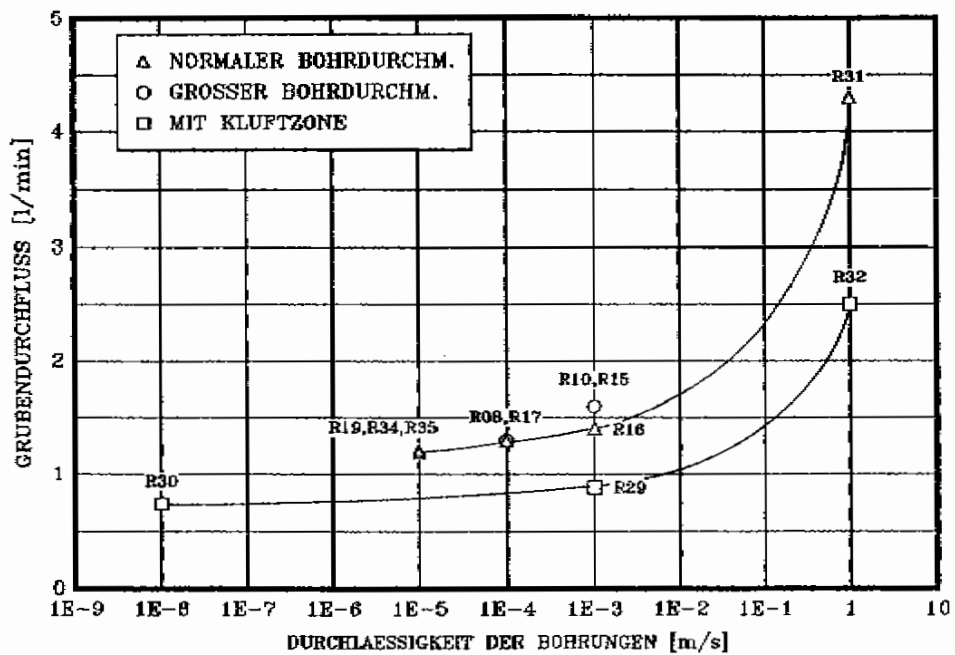


Abb. 5-1: Abhängigkeit des Grubendurchflusses von der Durchlässigkeit der Bohrungen in Unterkreide (kru) und Alb



# GRUBENDURCHFLUSS - FLUSS DURCH BOHRUNGEN

KUMULIERTER FLUSS DURCH BOHRUNGEN 67,30,320 IM ALB

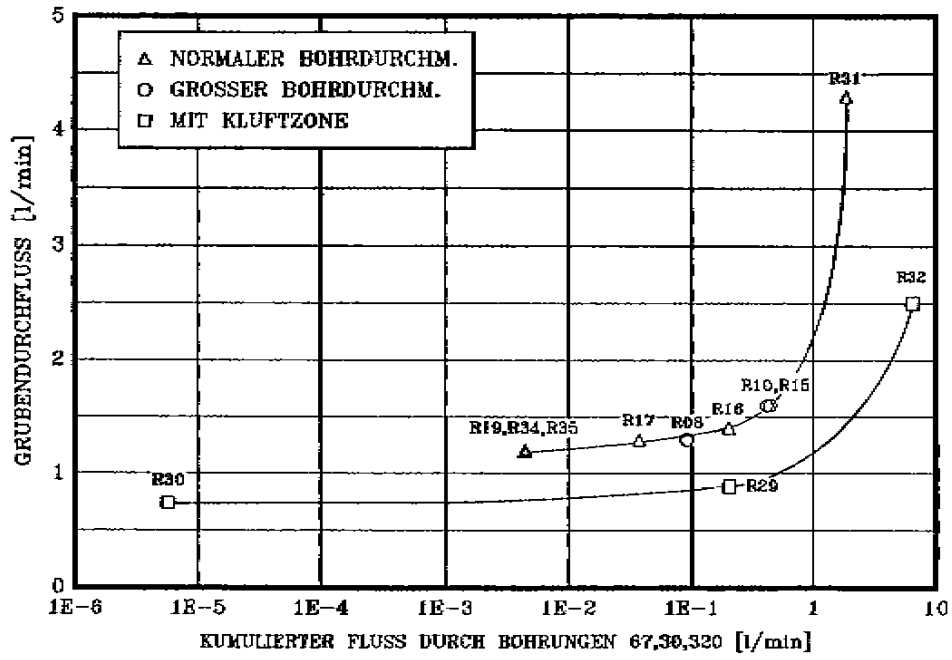


Abb. 5-2: Abhängigkeit des Grubendurchflusses vom kumulierten Fluss der Bohrungen 67, 30 und 320 im Alb

ANZAHL TRACKS GRUPPE B -- DURCHLAESSIGKEIT DER BOHRUNGEN  
BOHRUNGEN IM ALB UND UNTERKREIDE (UNVERSETZT)

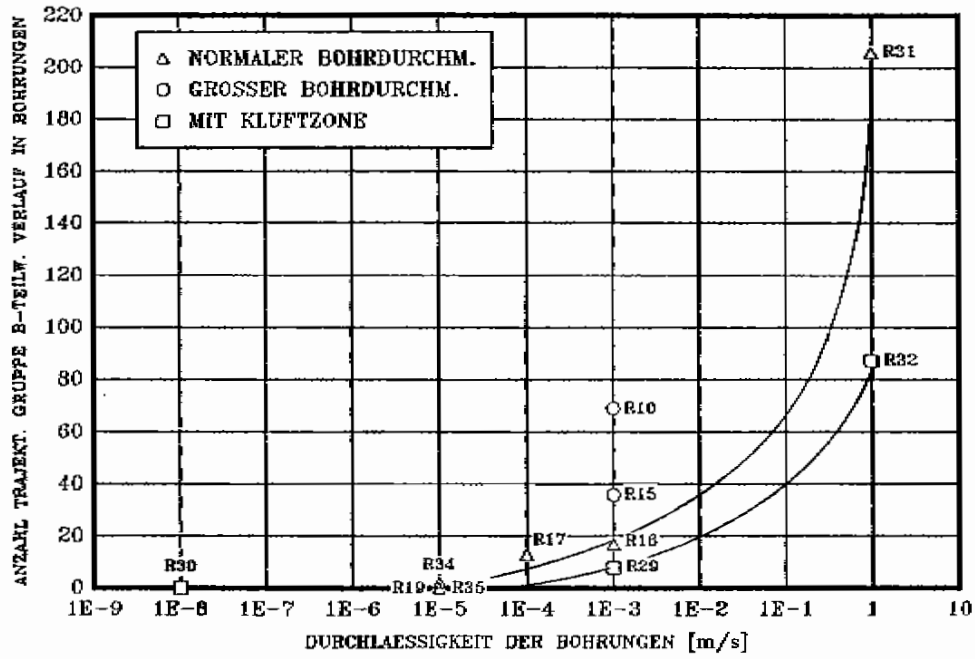


Abb. 5-3: Abhängigkeit der Anzahl Fließwege der Gruppe B von der Durchlässigkeit der Bohrungen in Unterkreide (kru) und Alb

# ANZAHL TRACKS GRUPPE B - FLUSS DURCH BOHRUNGEN

KUMULIERTER FLUSS DURCH BOHRUNGEN 67,30,320 IM ALB

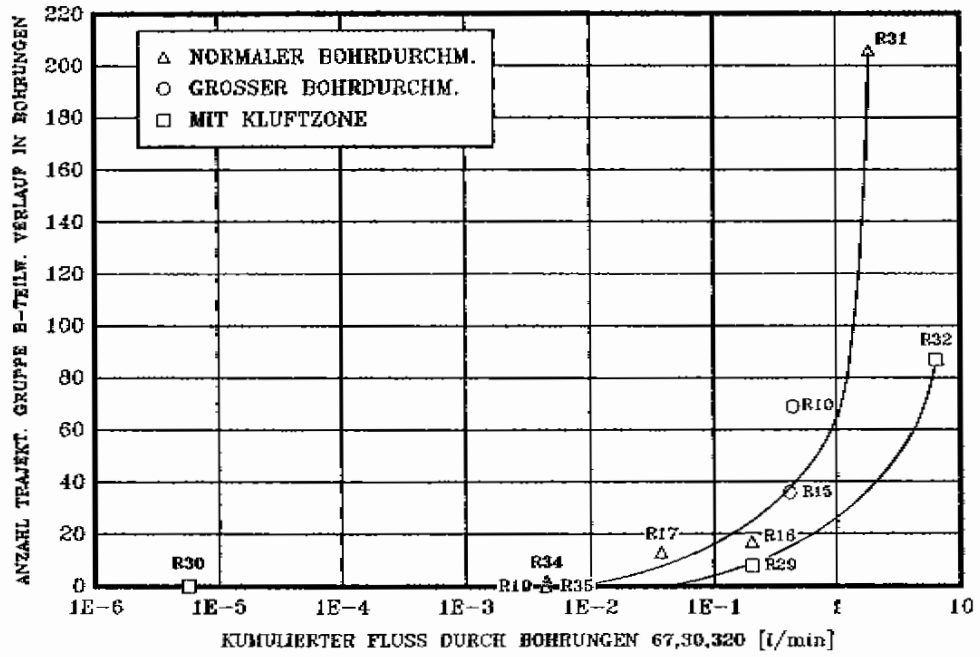


Abb. 5-4: Abhängigkeit der Anzahl Fließwege der Gruppe B vom kumulierten Fluss längs der Bohrungen 67, 30 und 320 im Alb

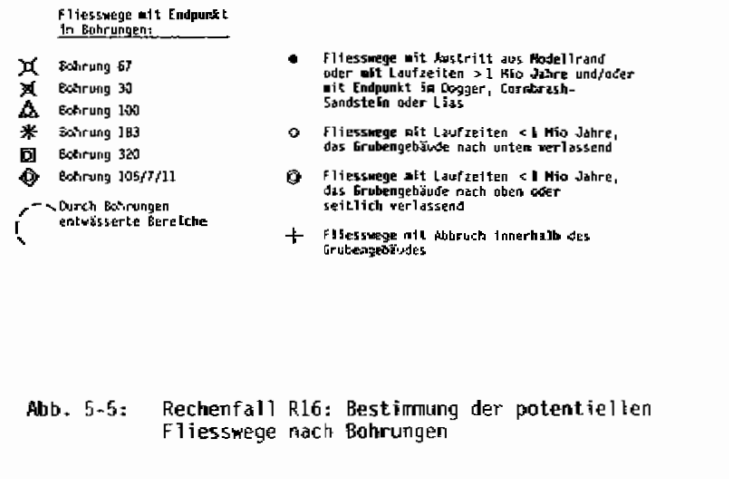
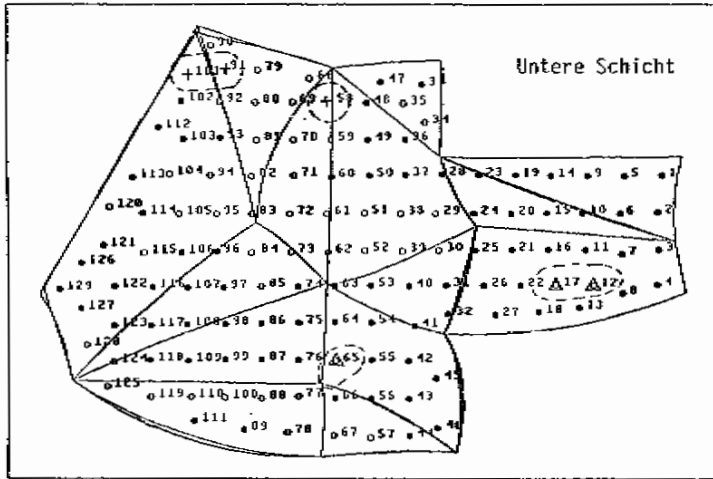
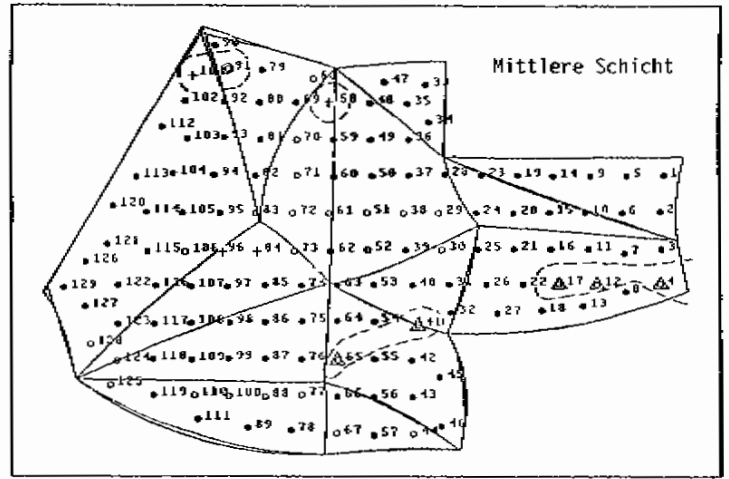
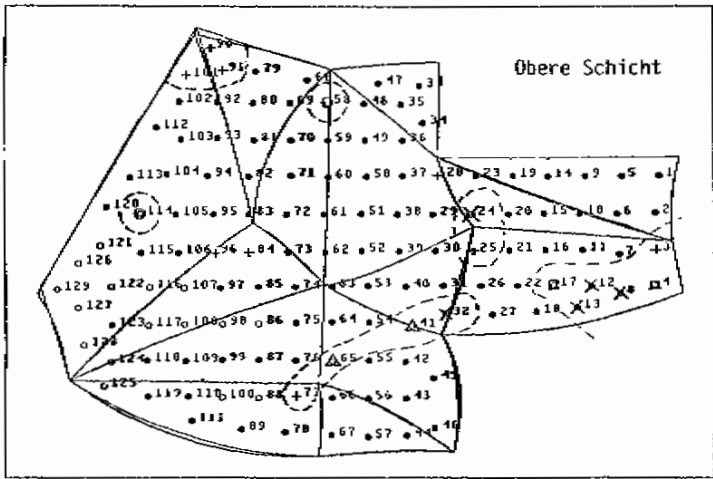
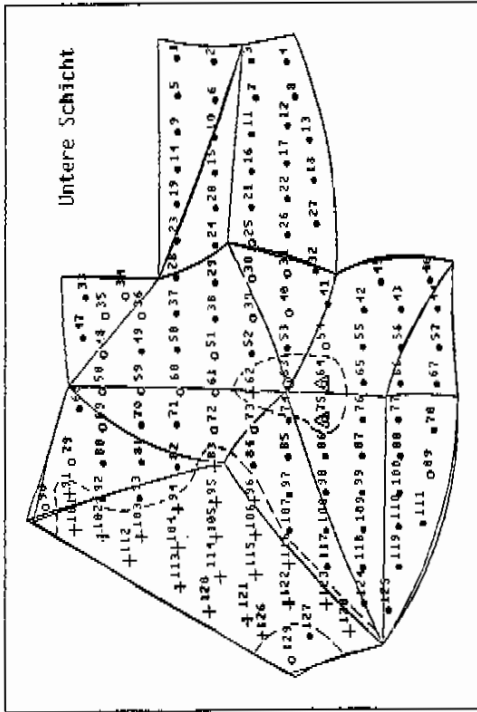
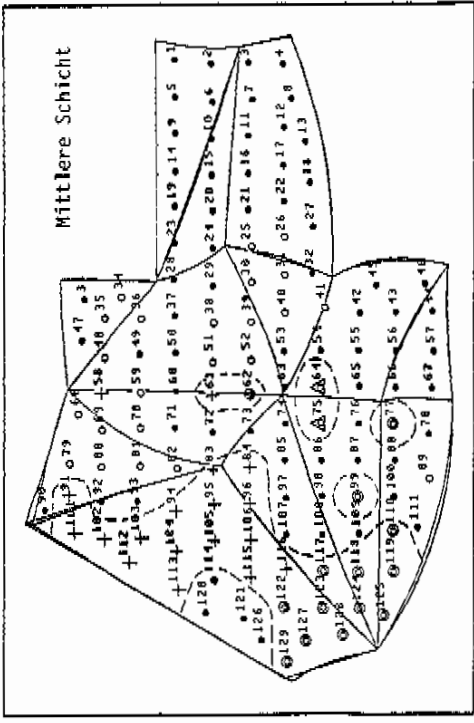
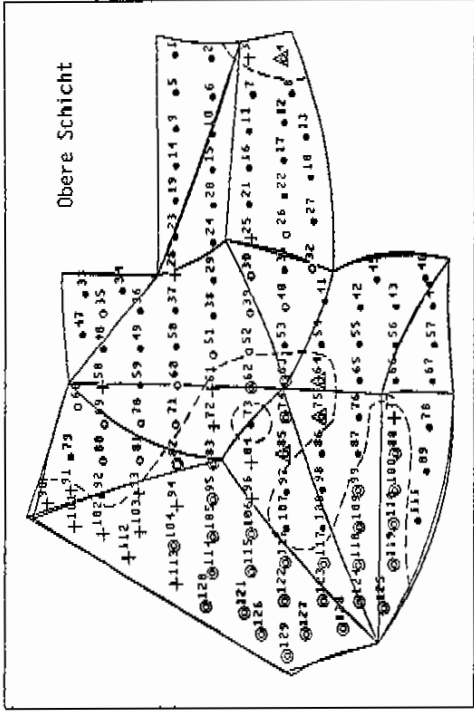


Abb. 5-5: Rechenfall R16: Bestimmung der potentiellen Fließwege nach Bohrungen



Fließwege mit Endpunkt  
in Bohrungen:

- ✕ Bohrung 67
- ✕ Bohrung 30
- ✕ Bohrung 100
- ✕ Bohrung 183
- ✕ Bohrung 320
- ✕ Bohrung 106/7/11

- ⊙ Fließwege mit Austritt aus Modellrand oder mit Laufzeiten > 1 Mio Jahre und/oder Sandstein oder Löss
- Fließwege mit Laufzeiten < 1 Mio Jahre, das Grabengebäude nach unten verlassend
- ⊖ Fließwege mit Laufzeiten < 1 Mio Jahre, das Grabengebäude nach oben oder seitlich verlassend
- + Fließwege mit Abbruch innerhalb des Grabengebäudes

⌒ Durch Bohrungen entwässerte Bereiche

Abb. 5-6: Rechenfall R29: Bestimmung der potentiellen Fließwege nach Bohrungen

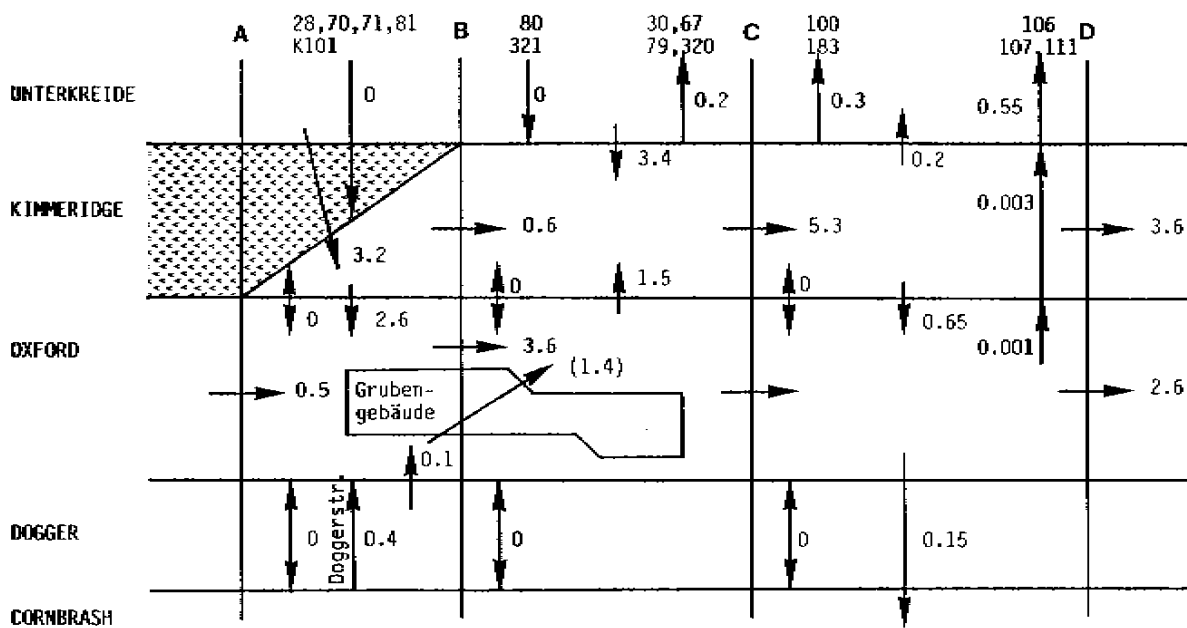
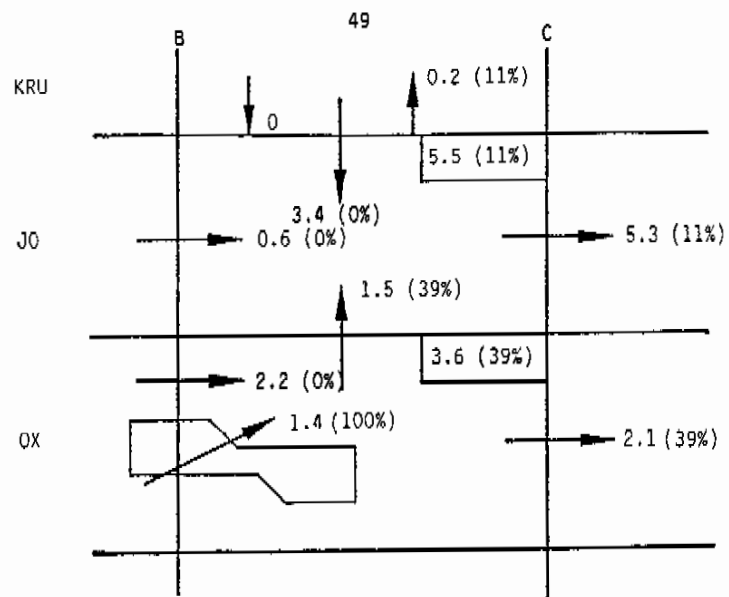
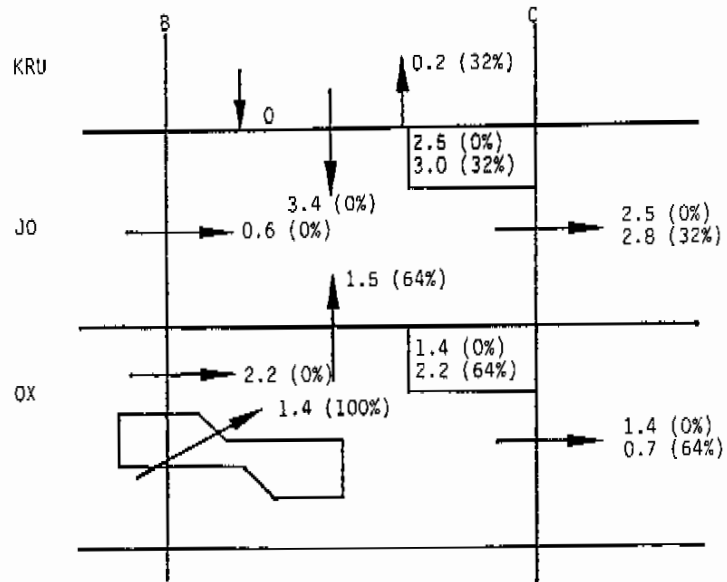


Abb. 5-7: Rechenfall R16: Bilanz der Flüsse zwischen den Schnitten A und D im Schichtpaket Cornbrash-Sandstein bis Kimmeridge



a) Kompartimentbreite gleich Schichtbreite



b) Reduzierte Kompartimentbreite  
 Durchfluss Oxford ausserhalb Kompartiment 1.4 l/min,  
 Kimmeridge 2.5 l/min

Abb. 5-8: Rechenfall R16: Verdünnungsrechnung 2

R34 POTENTIALVERTEILUNG IM SCHNITT B\_9 (AUSSCHNITT)

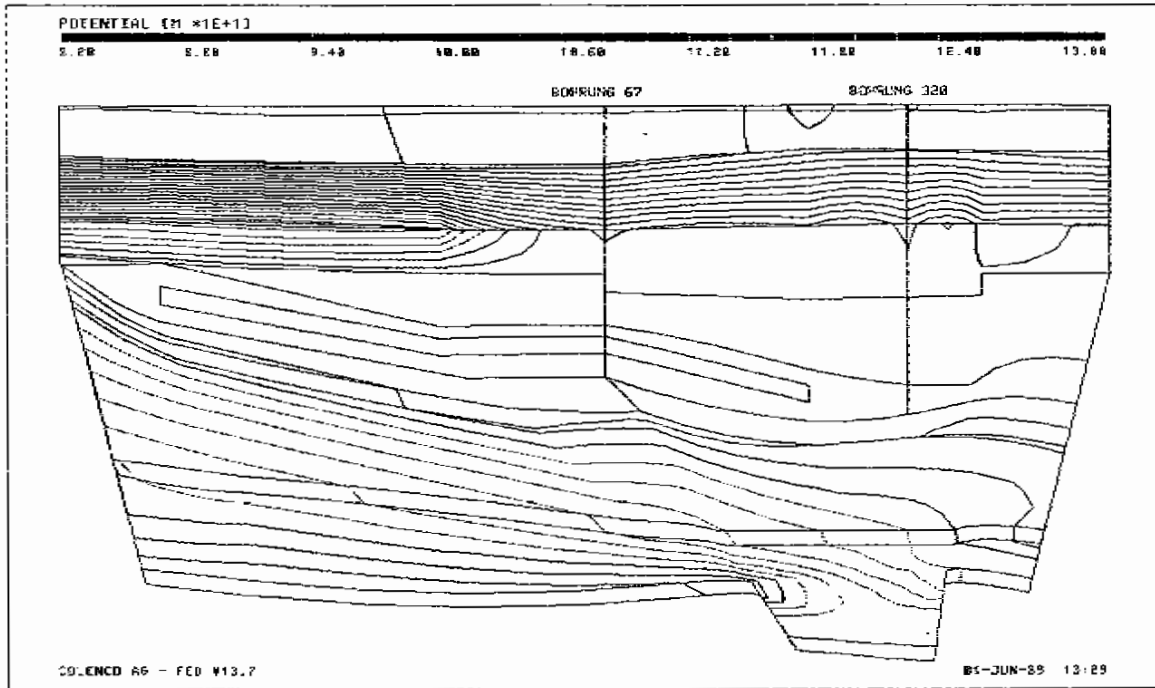


Abb: A-1: Rechenfall R34: Schnitt B-9, Ausschnitt mit den Bohrungen 67 und 320



R34. POTENTIALVERTEILUNG IM SCHNITT 8\_9 (AUSSCHNITT)

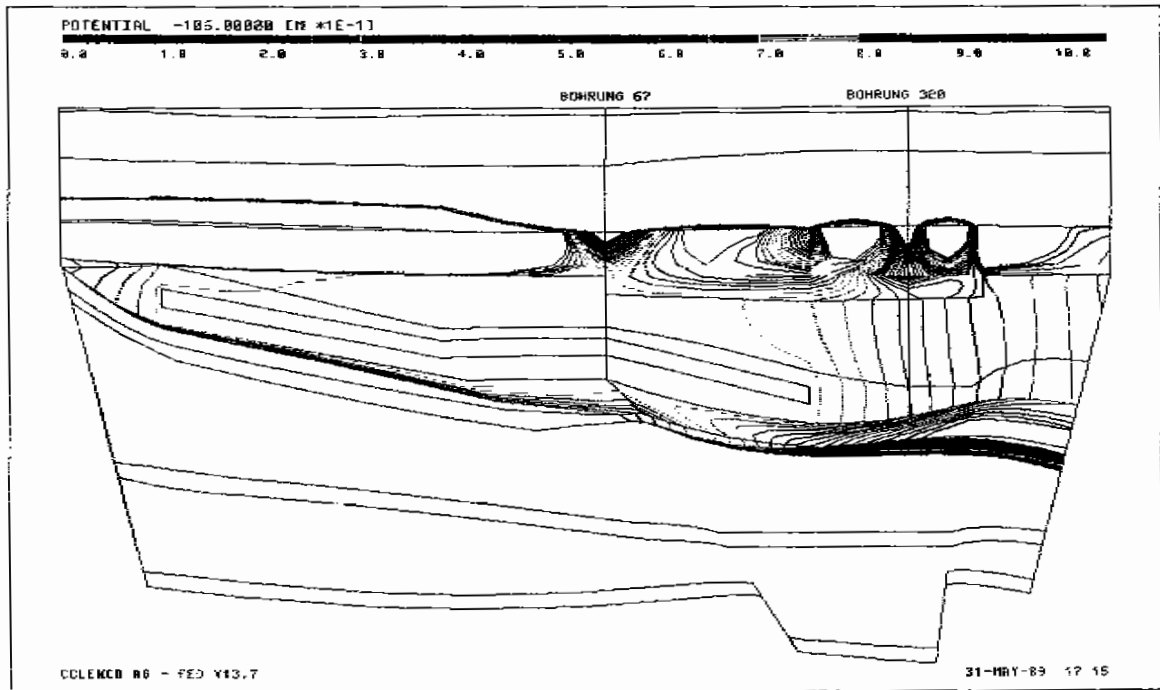


Abb. A-2: Rechenfall R34: Schnitt 8-9, Ausschnitt mit den Bohrungen 67 und 320, Potential zwischen 106 und 107 m NN

R34: POTENTIALVERTEILUNG IM SCHNITT 507 (AUSSCHNITT)

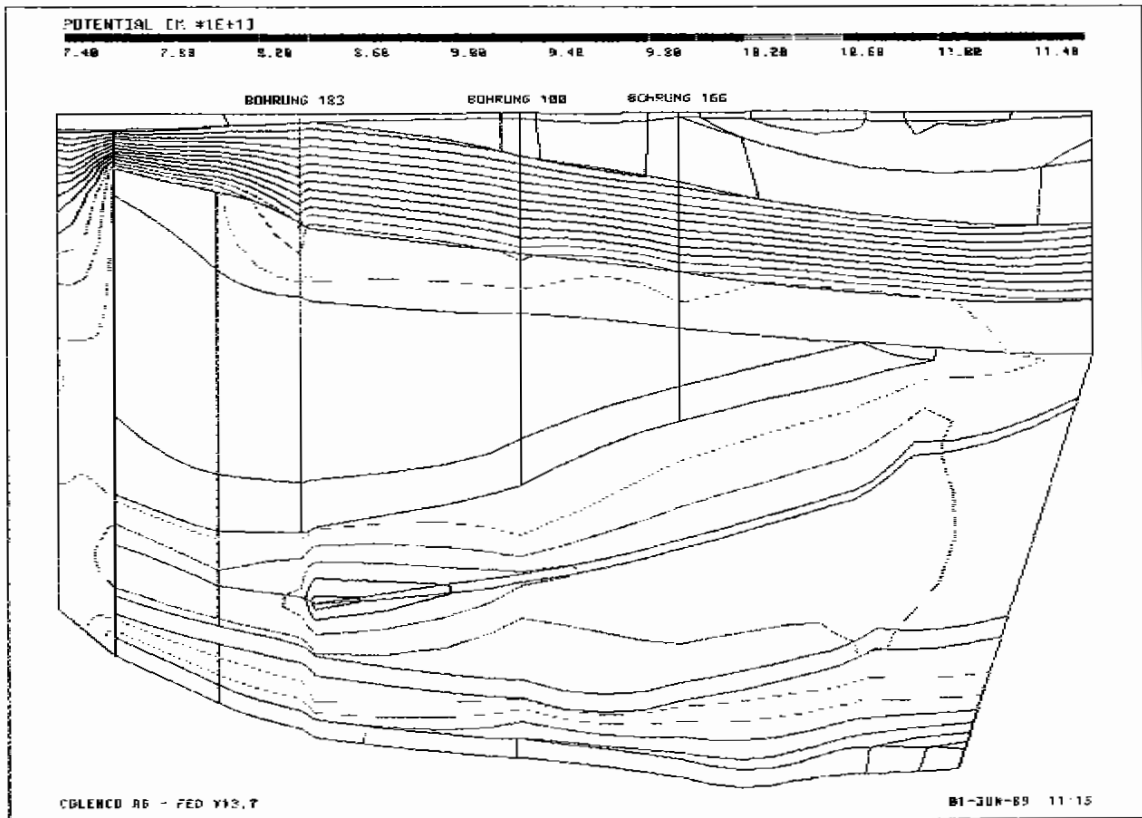


Abb. A-3: Rechenfall R34: Schnitt 507, Ausschnitt mit den Bohrungen 183, 100 und 166

R34: POTENTIALVERTEILUNG IM SCHNITT 507 (AUSSCHNITT)

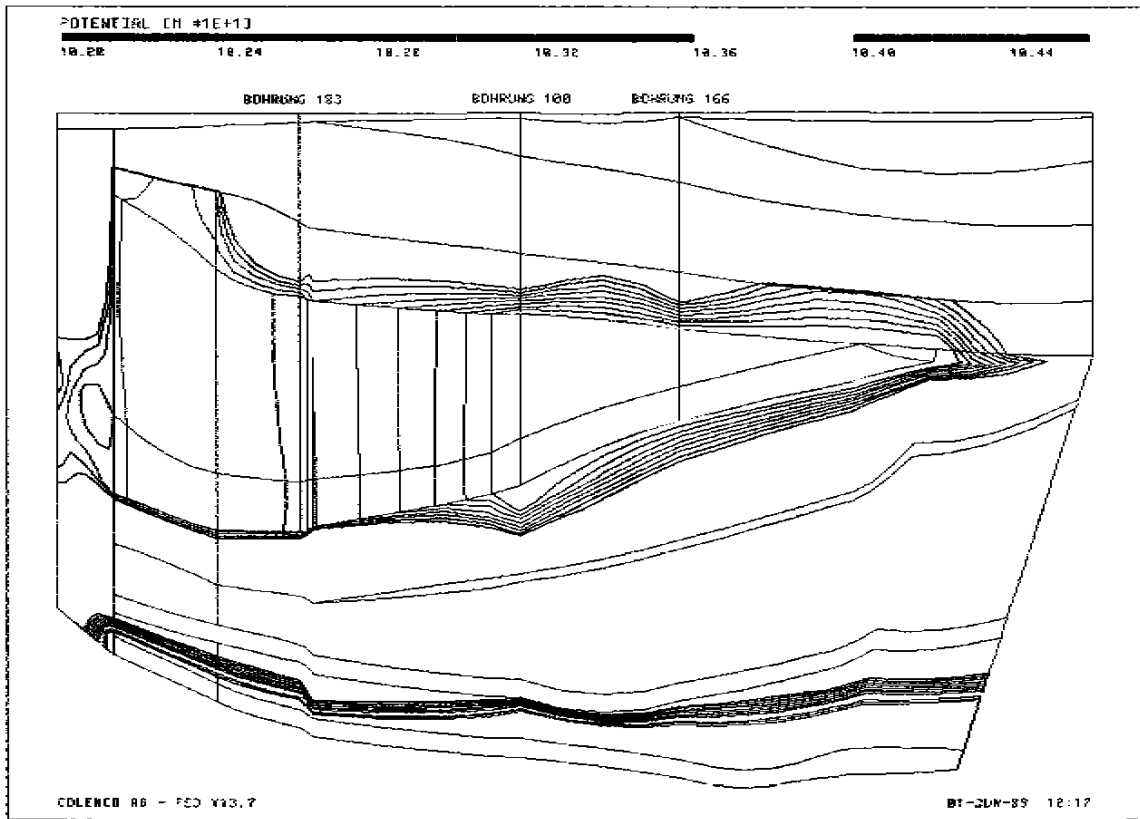


Abb. A-4: Rechenfall R34: Schnitt 507, Ausschnitt mit den Bohrungen 183, 100 und 166, Potential zwischen 102 und 104,4 m

R34: POTENTIALVERTEILUNG AN DER BASIS K&O

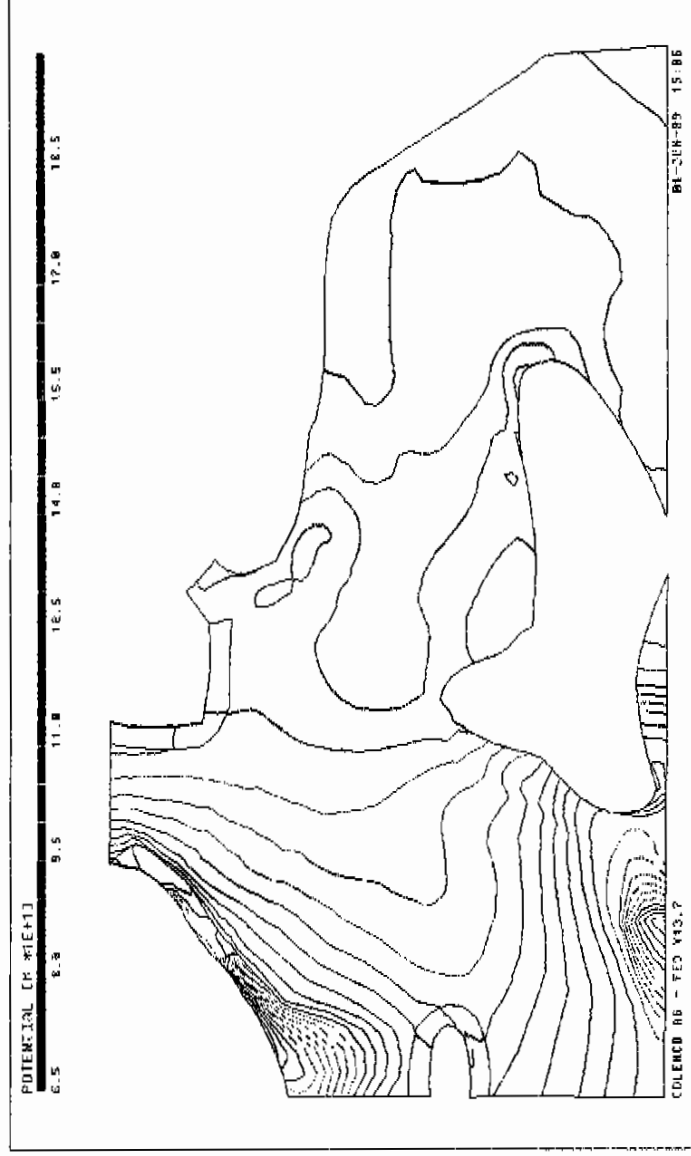


Abb. A-5: Rechenfall R34: Potentiale an der Basis Oberkreide

R34: POTENTIALVERTEILUNG AN DER BASIS HL

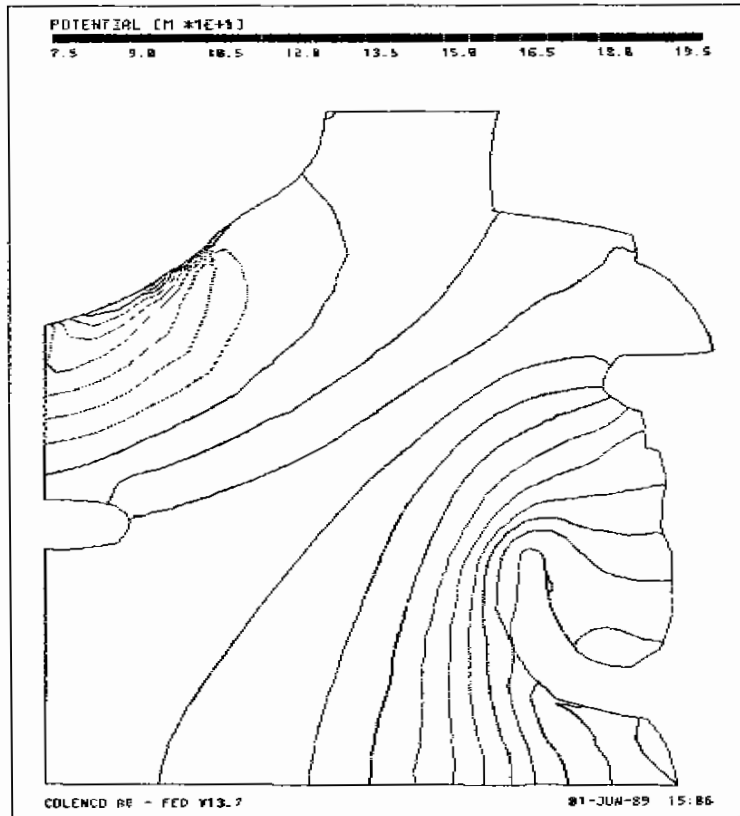


Abb. A-6:  
Rechenfall R34: Potentiale  
an der Basis Hilssandstein

R34. POTENTIALVERTEILUNG AN DER BASIS KRU

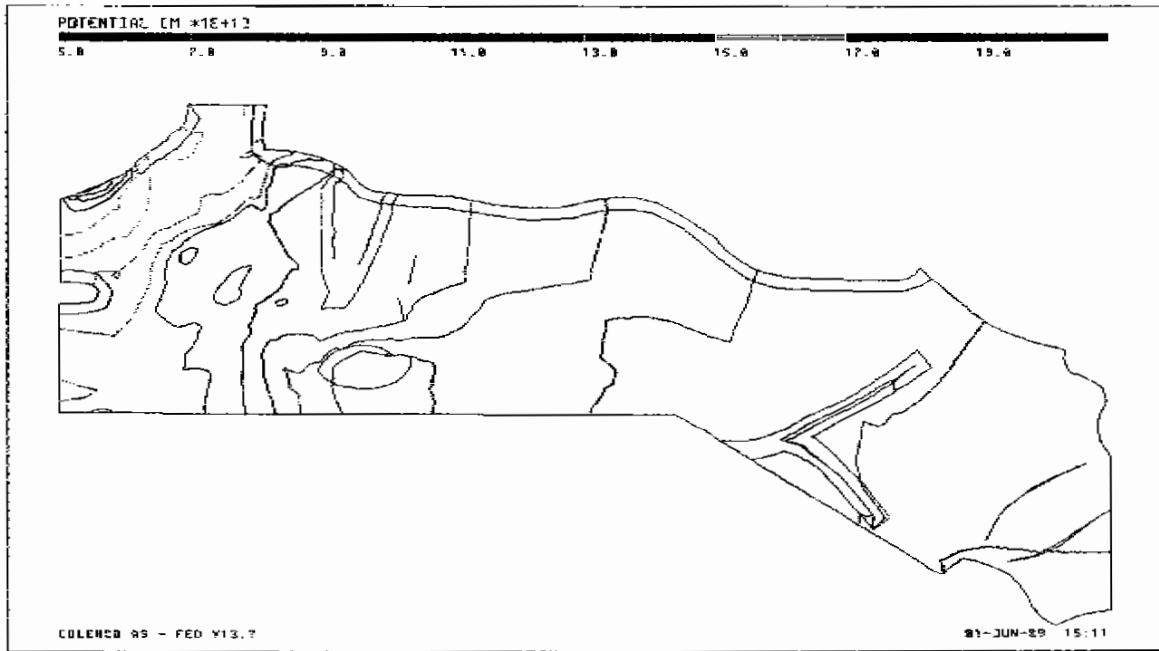


Abb. A-7: Rechenfall R34: Potentiale an der Basis Unterkreide

R34 POTENTIALVERTEILUNG AN DER BASIS OXF

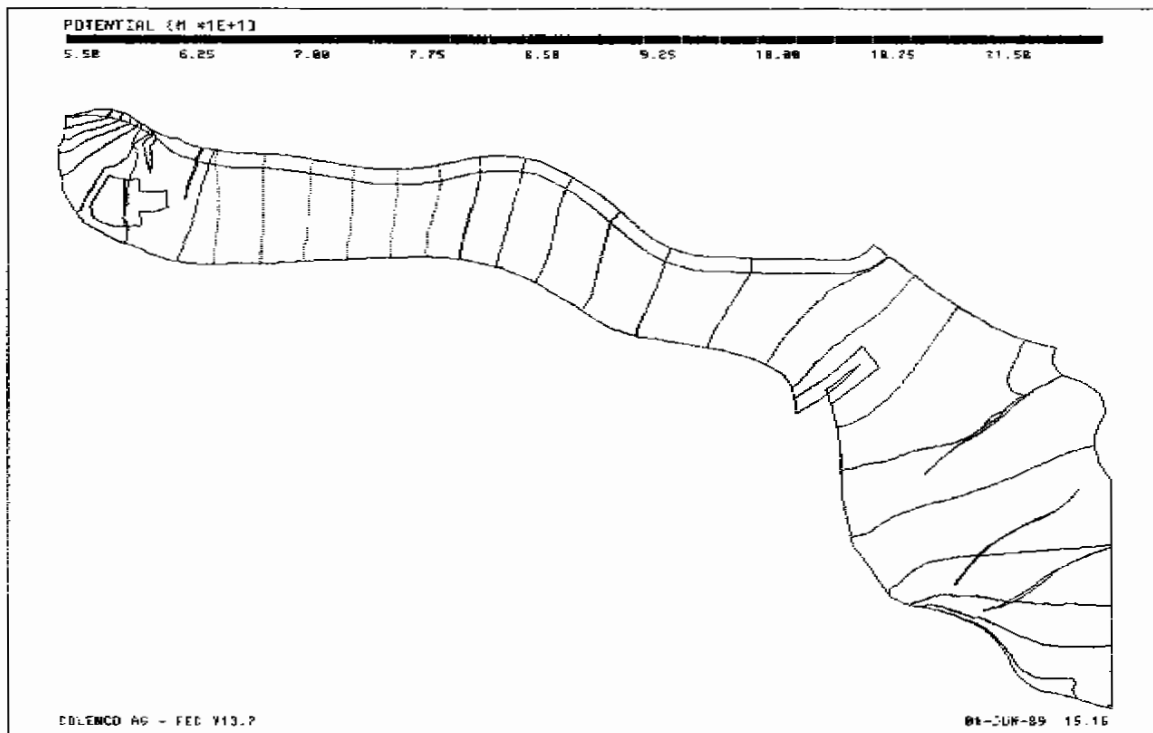


Abb. A-8: Rechenfall R34: Potentiale an der Basis Oxford

POTENTIALDIFFERENZ R34 - R01 IM SCHNITT 8\_9 (AUSSCHNITT)

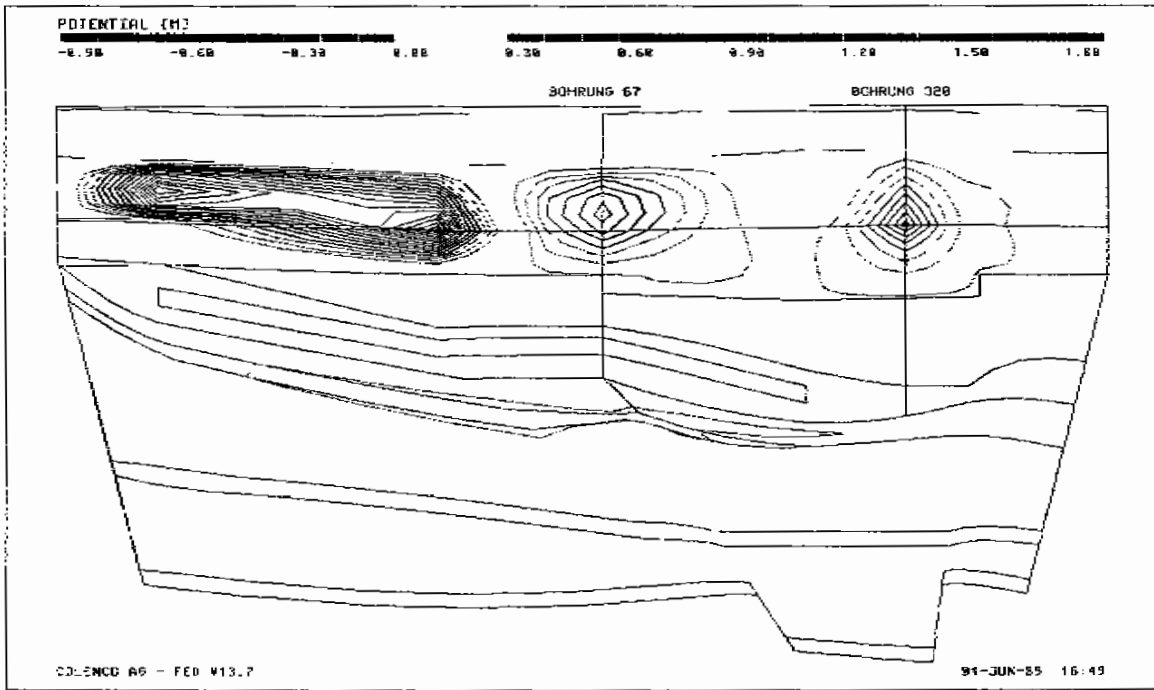


Abb. A-9: Rechenfall R34: Potentialunterschiede R34-R01, Schnitt 8-9, Ausschnitt mit den Bohrungen 67, 320



POTENTIALDIFFERENZ R34 - R01 IM SCHNITT 507 (AUSSCHNITT)

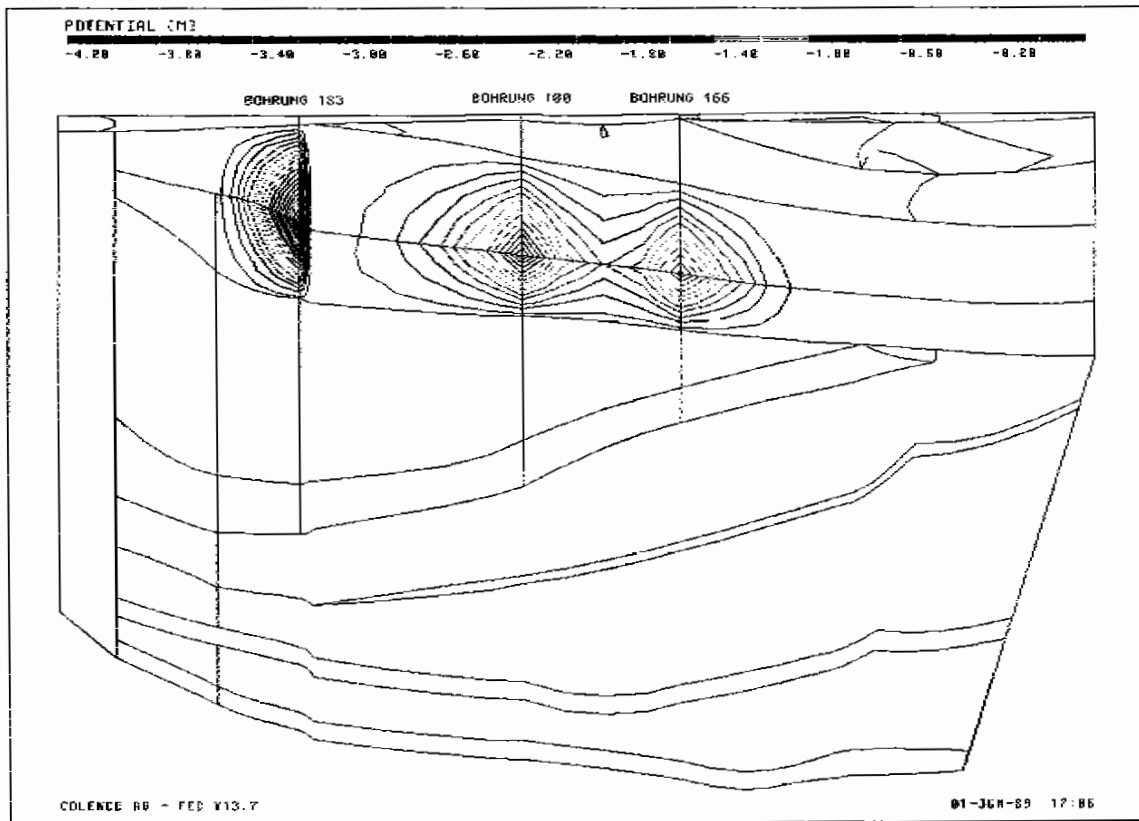


Abb. A-10: Rechenfall R34: Potentialunterschiede R34-R01, Schnitt 507, Ausschnitt mit den Bohrungen 183, 100 und 166

POTENTIALDIFFERENZ R34 - R01 AN DER BASIS KR0

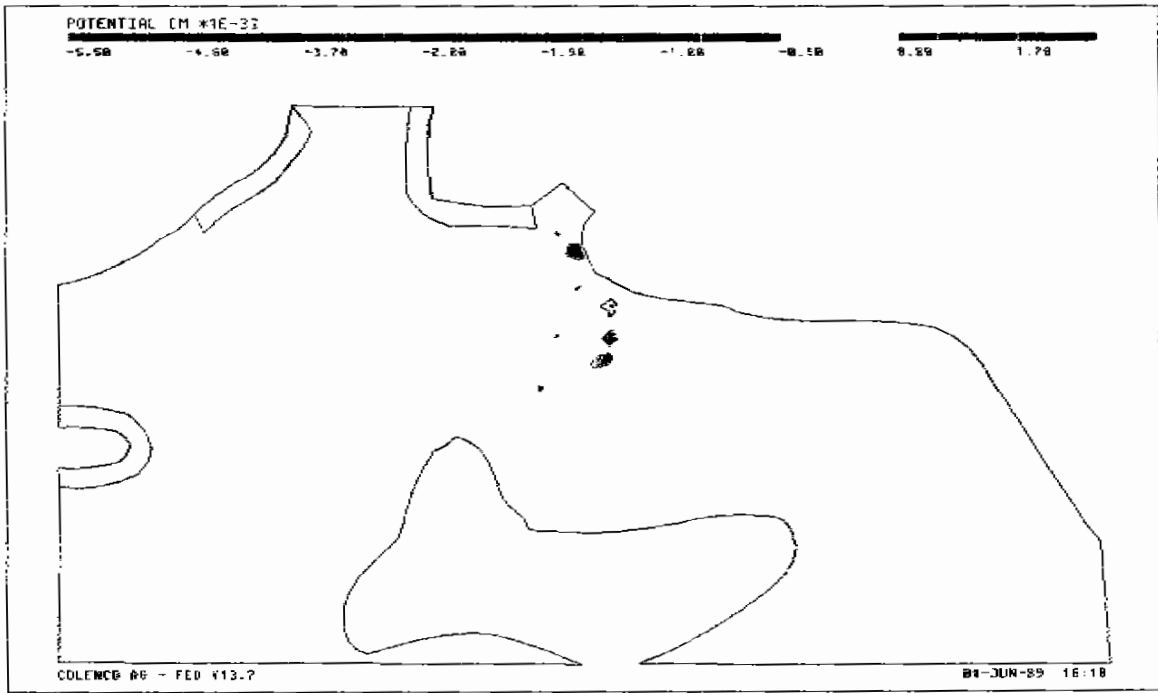


Abb. A-11: Rechenfall R34: Potentialunterschiede R34-R01, Basisfläche von Schichteinheiten (Südabschnitt), Basis Oberkreide

POTENTIALDIFFERENZ R34 - R01 AN DER BASIS KR#

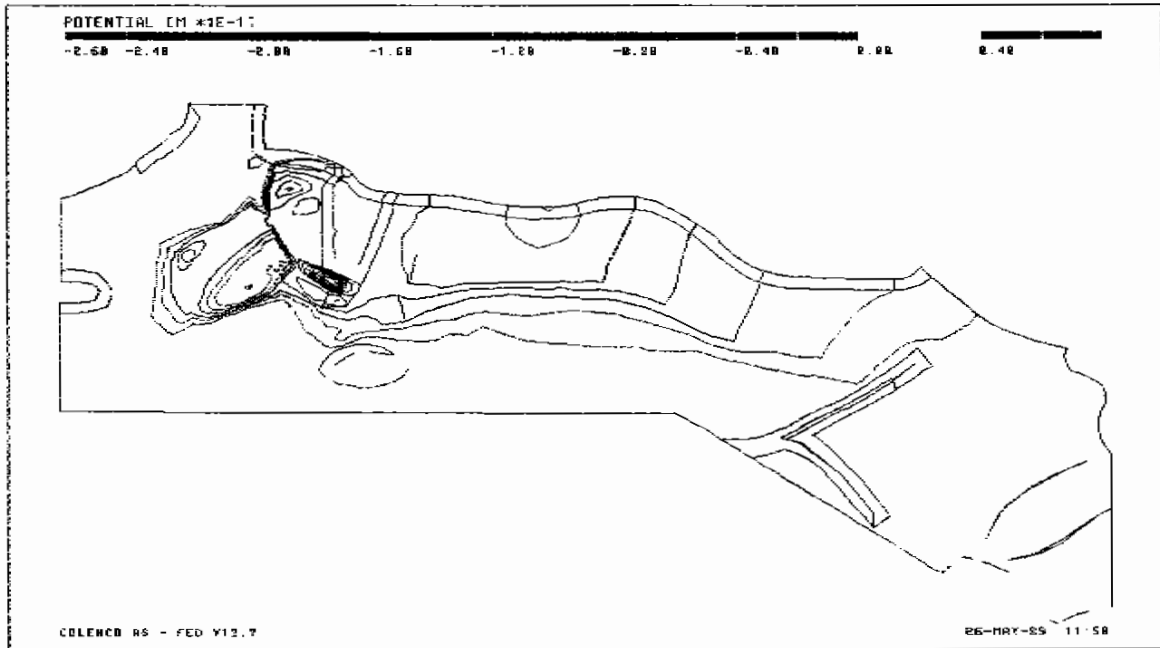


Abb. A-12: Rechenfall R34: Potentialunterschiede R34-R01, Basisflächen von Schichteinheiten (Südabschnitt), Basis Unterkreide

POTENTIALDIFFERENZ R34 - R01 AN DER BASIS OX

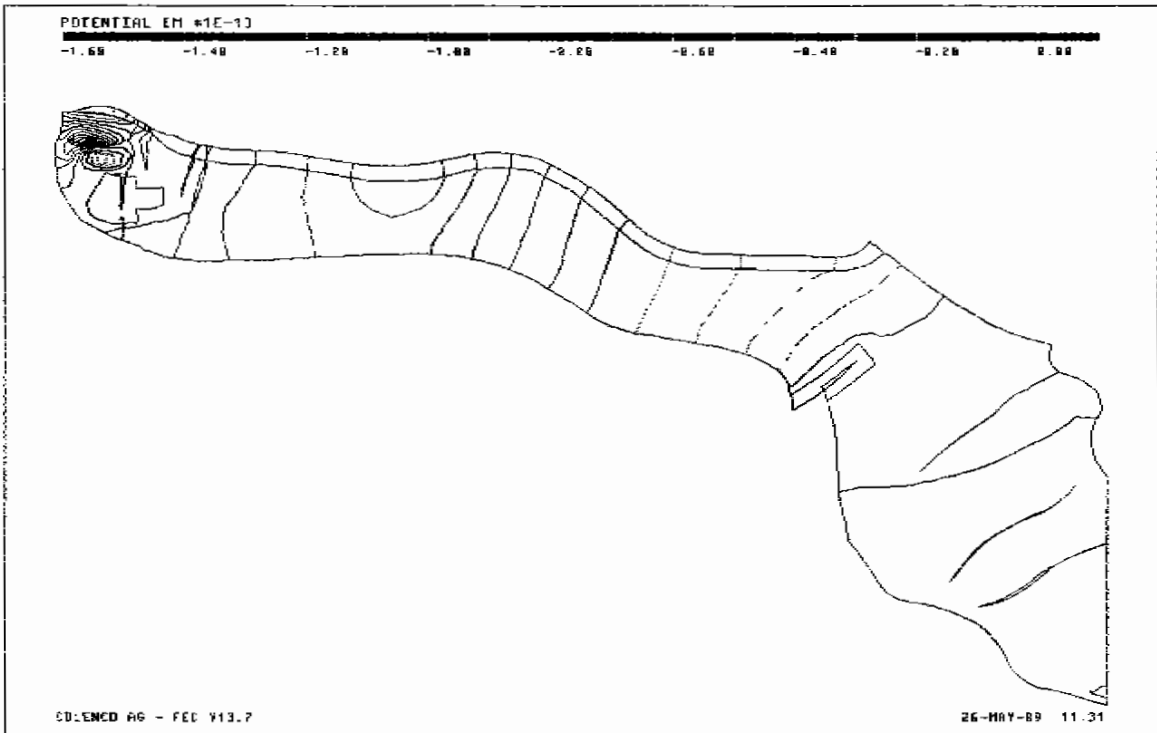


Abb. A-13: Rechenfall R34: Potentialunterschiede R34-R01, Basisflächen von Schichteinheiten (Südabschnitt), Basis Oxford

R34: TRAJEKTORIEN DER GRUPPE B - GRUNDRISS

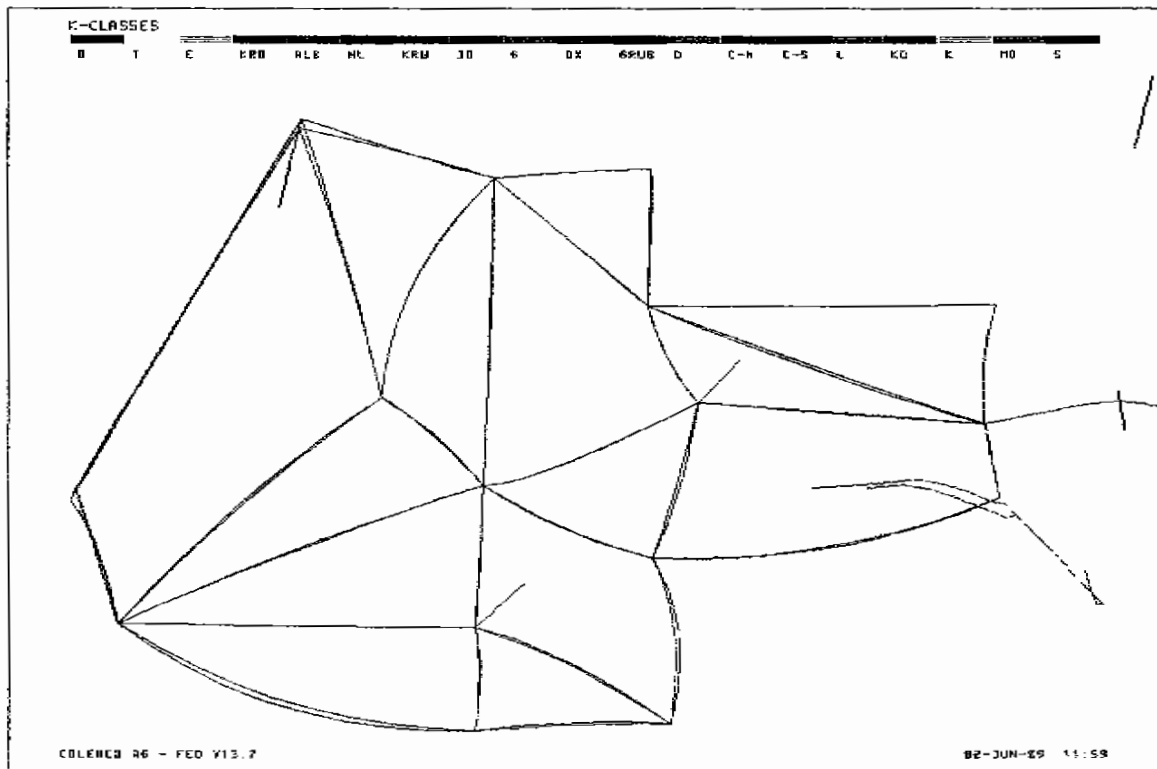


Abb. A-14: Rechenfall R34: Fließwege der Gruppe B (teilweise durch Bohrungen verlaufend): Grundriss

R34 TRAJEKTORIEN DER GRUPPE B

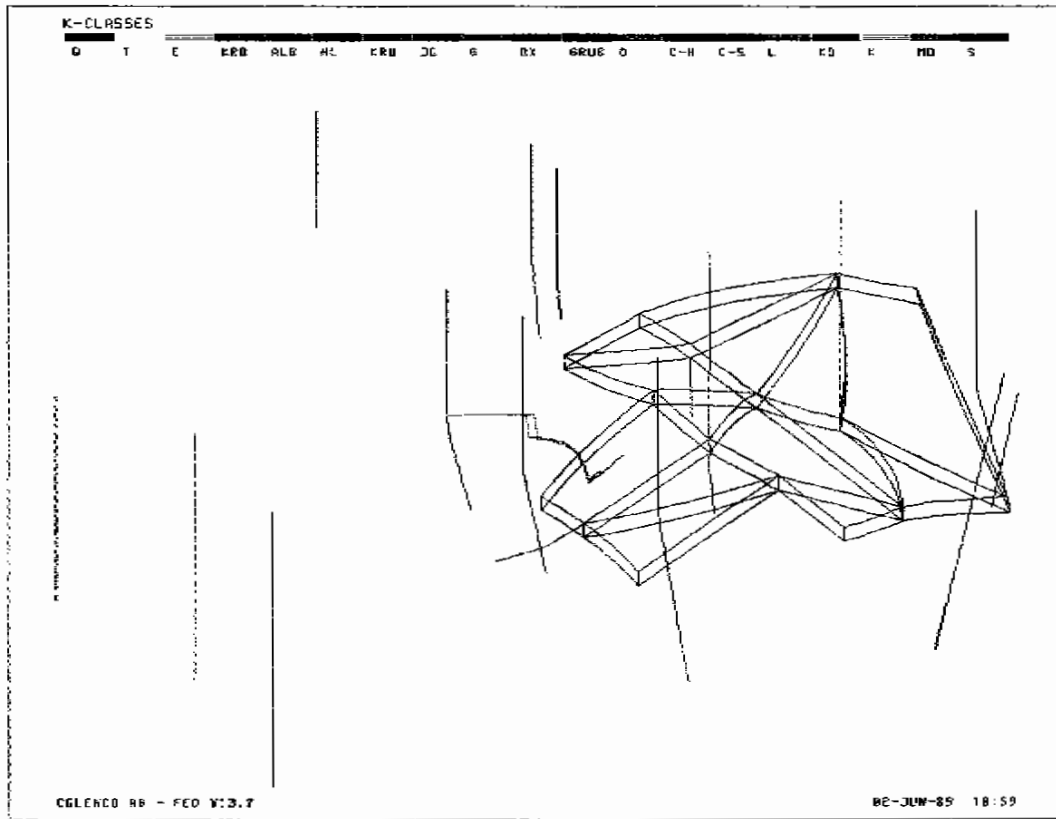


Abb. A-15: Rechenfall R34: Fließwege der Gruppe B (teilweise durch Bohrungen verlaufend): Schräge Aufsicht

R34: TRAJEKTORIEN DER GRUPPE B IM SCHNITT 8\_9 (AUSSCHNITT)

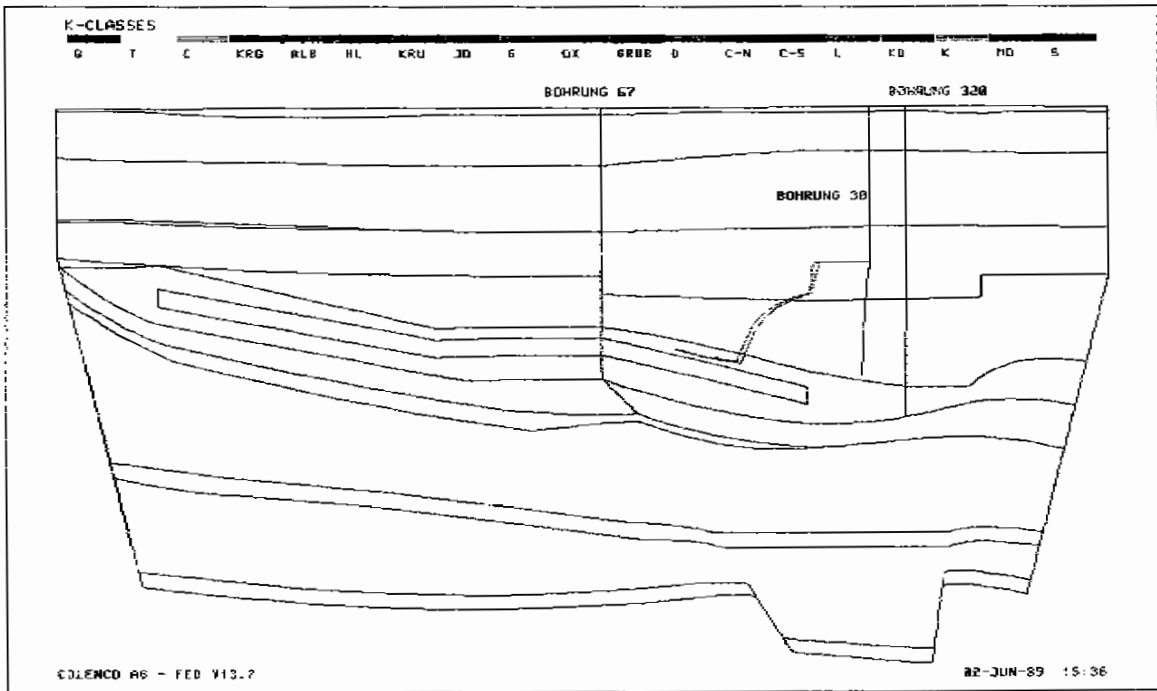


Abb. A-16: Rechenfall R34: Fließwege der Gruppe B (teilweise durch Bohrungen verlaufend): Schnitt 8-9, Ausschnitt

R34: ALLE TRAJEKTORIEN - OBERE SCHICHT, GRUNDRISS

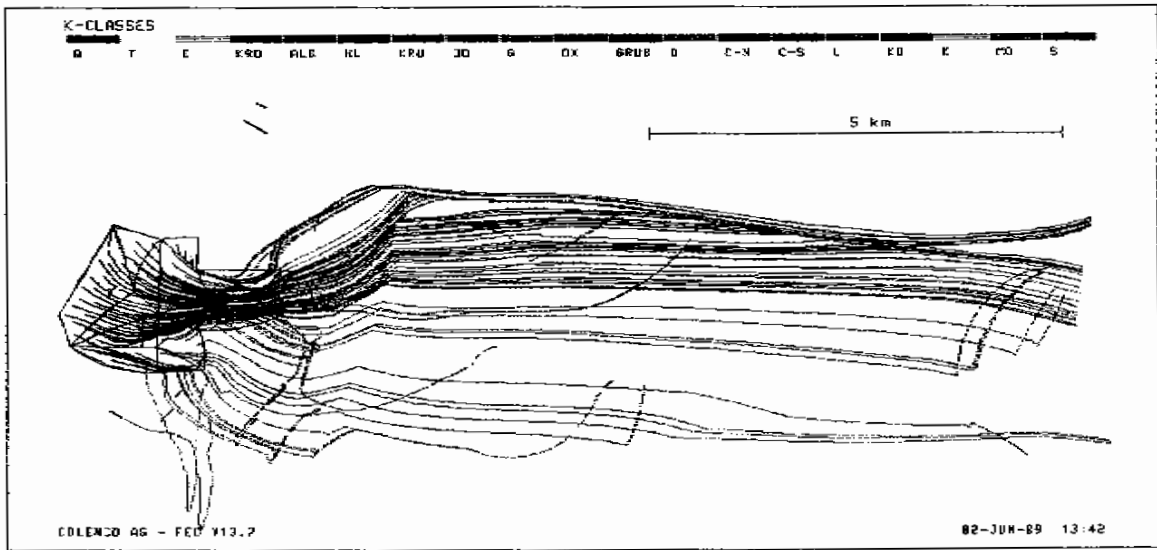


Abb. A-17: Rechenfall R34: Alle Fließwege: Grundriss, obere Schicht



R34: ALLE TRAJEKTORIEN - MITTLERE SCHICHT, GRUNDRISS

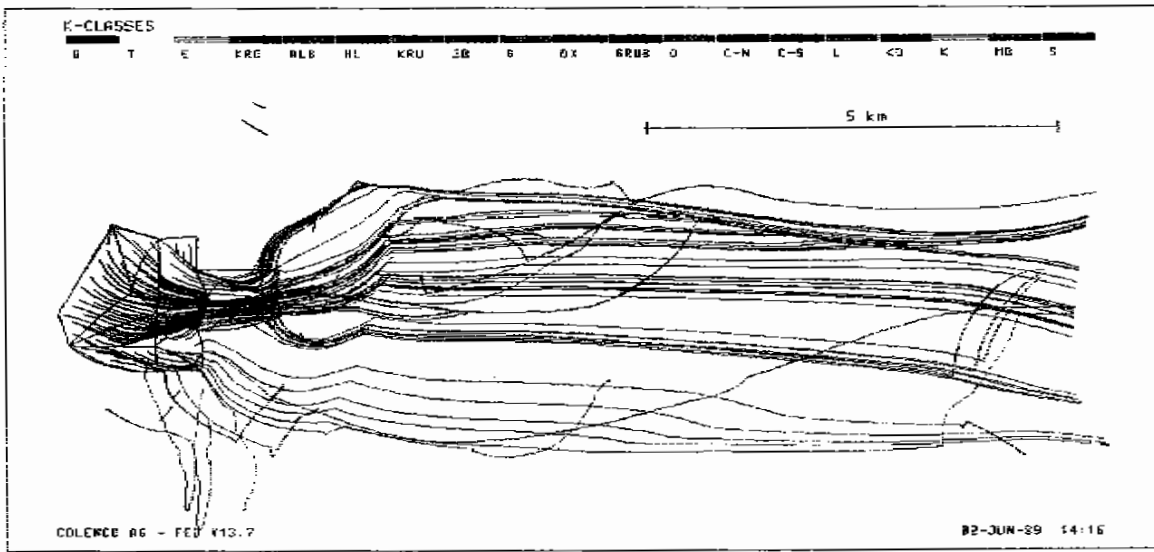


Abb. A-18: Rechenfall R34: Alle Fließwege: Grundriss, mittlere Schicht

R34 ALLE TRAJEKTORIEN - MITTLERE SCHICHT, GRUNDRISSE

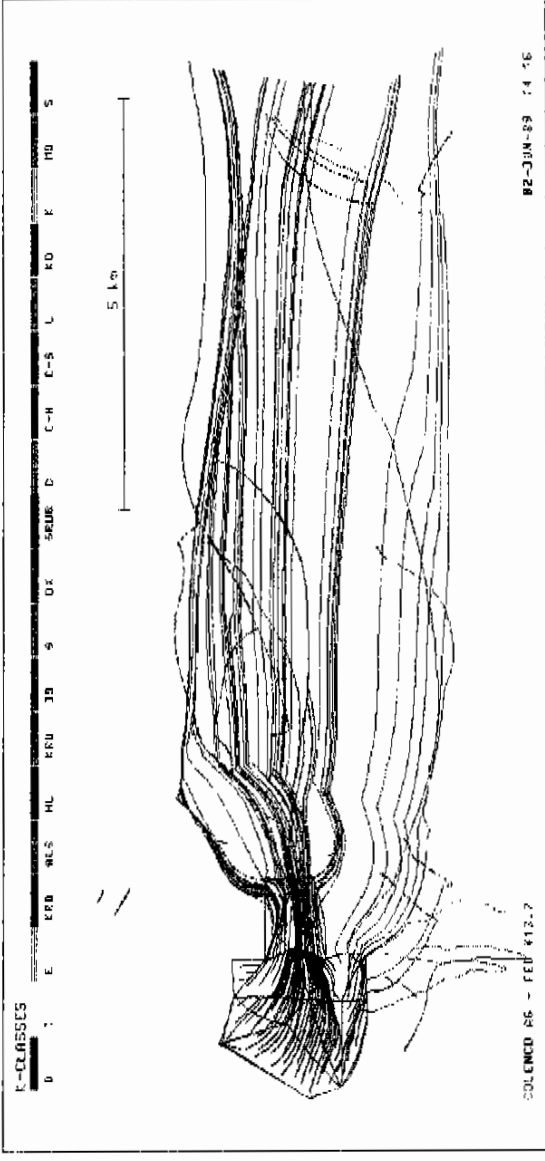


Abb. A-18: Rechenfall R34: Alle fließwege: Grundriss, mittlere Schicht

R16. POTENTIALVERTEILUNG IM SCHNITT 8\_9 (AUSSCHNITT)

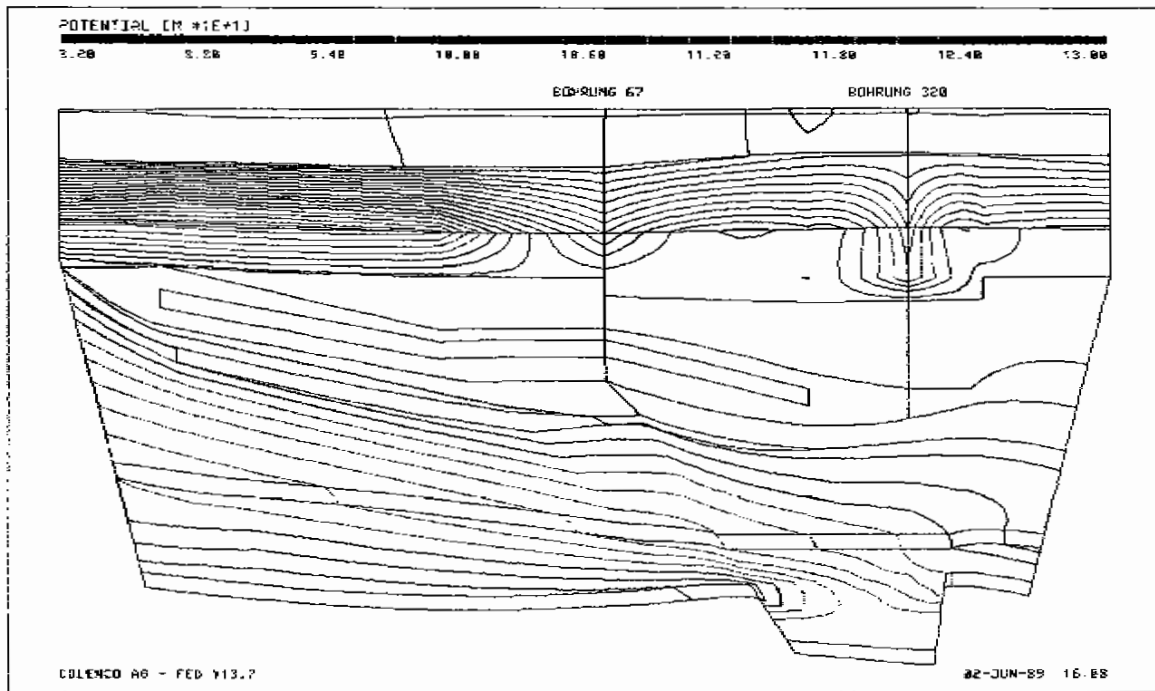


Abb. B-1: Rechenfall R16: Potential im Schnitt 8-9, Ausschnitt mit den Bohrungen 67 und 320

R16 POTENTIALVERTEILUNG IM SCHNITT 8\_9 (AUSSCHNITT)

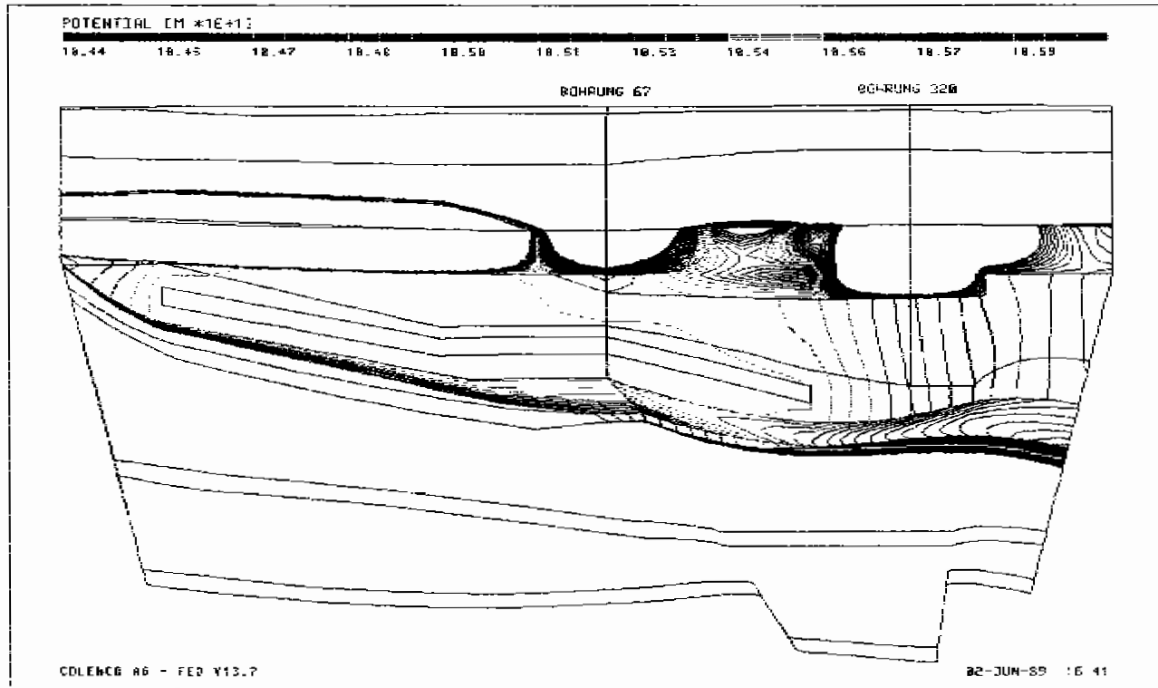


Abb. B-2: Rechenfall R16: Potential im Schnitt 8-9 zwischen 104,4 und 106 m NN

R16. TRAJEKTORIEN DER GRUPPE B IM SCHNITT 8\_9 (AUSSCHNITT)

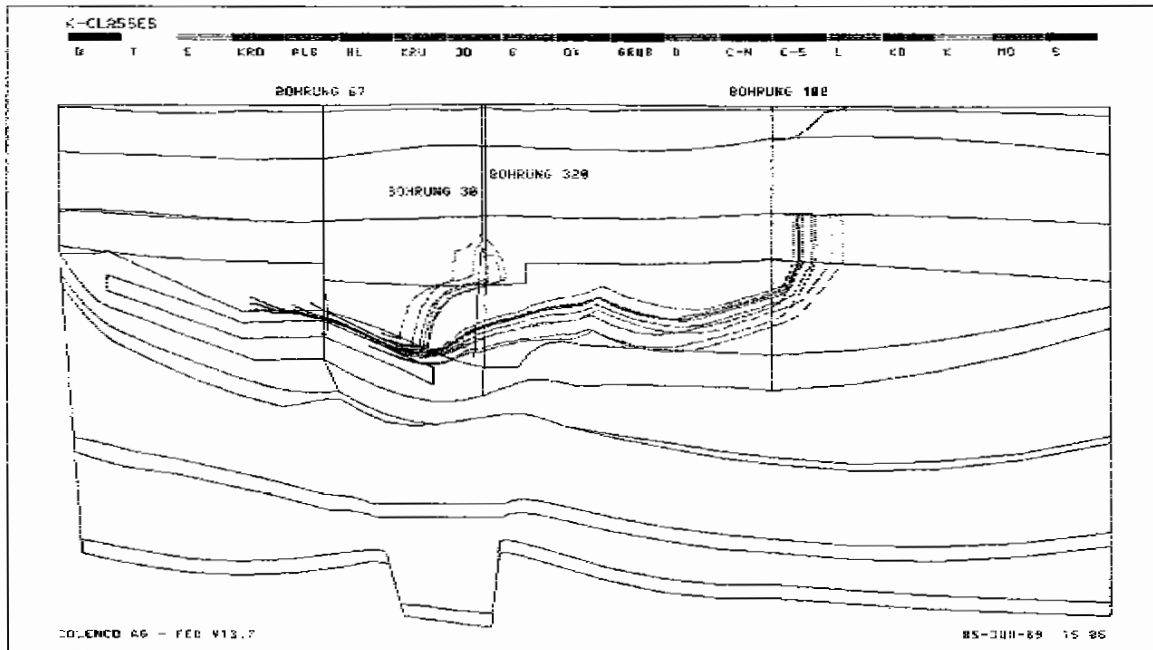


Abb. B-3: Rechenfall R16: Fließwege der Gruppe B (teilweise durch Bohrungen verlaufend) im Schnitt 8-9

R29 POTENTIALVERTEILUNG IM SCHNITT 8-9 (QUERSCHNITT)

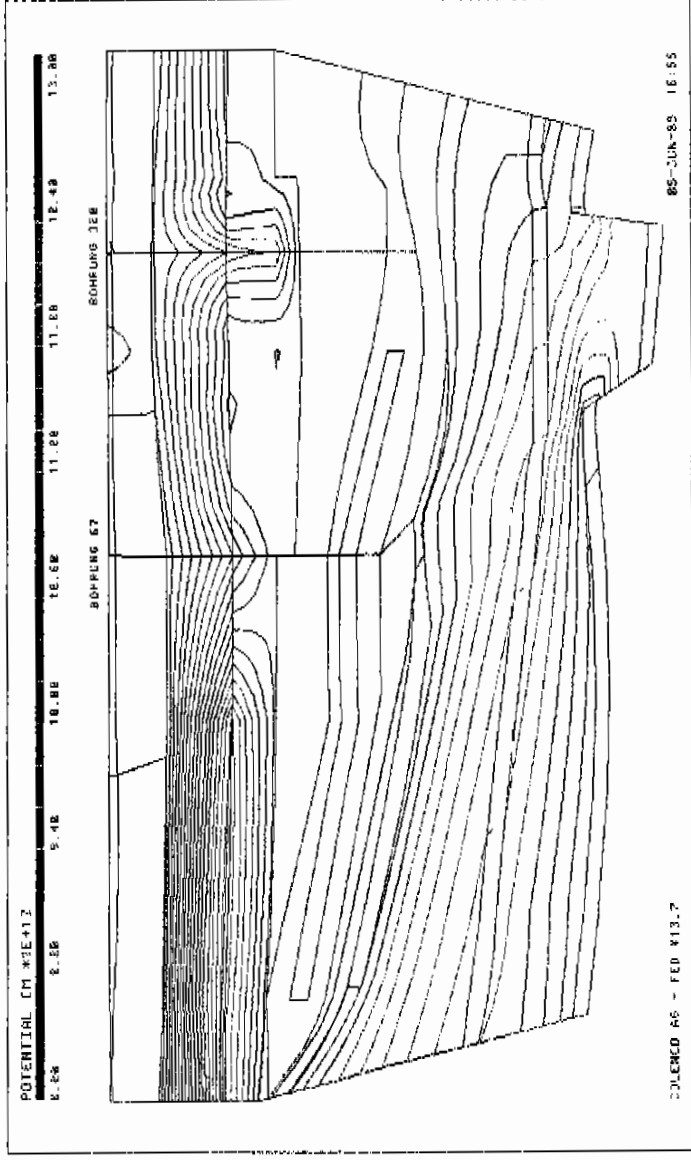


Abb. C-1: Rechenfall R29: Potential im Schnitt 8-9, Ausschnitt mit den Bohrungen 67 und 320

R29 POTENTIALVERTEILUNG IM SCHNITT 8\_9 (AUSCHNITT)

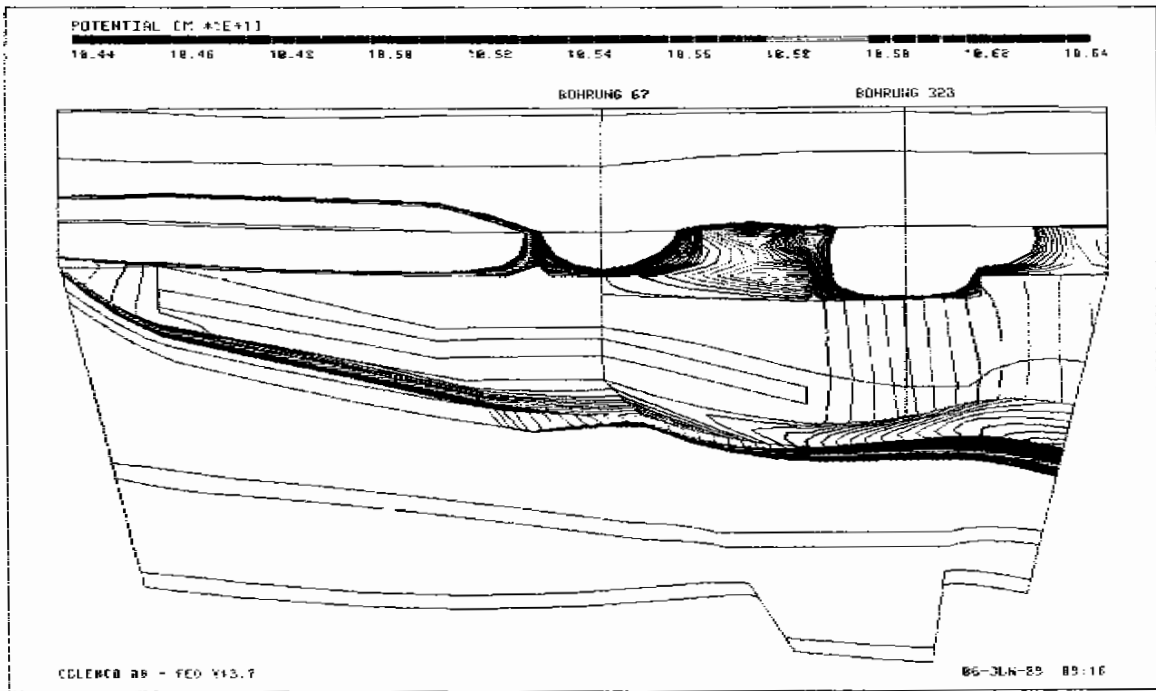


Abb. C-2: Rechenfall R29: Potential im Schnitt 8-9 zwischen 104,4 und 106,4 m NN

R29 TRAJEKTORIEN DER GRUPPE B IM SCHNITT 8-9 (AUSSCHNITT)

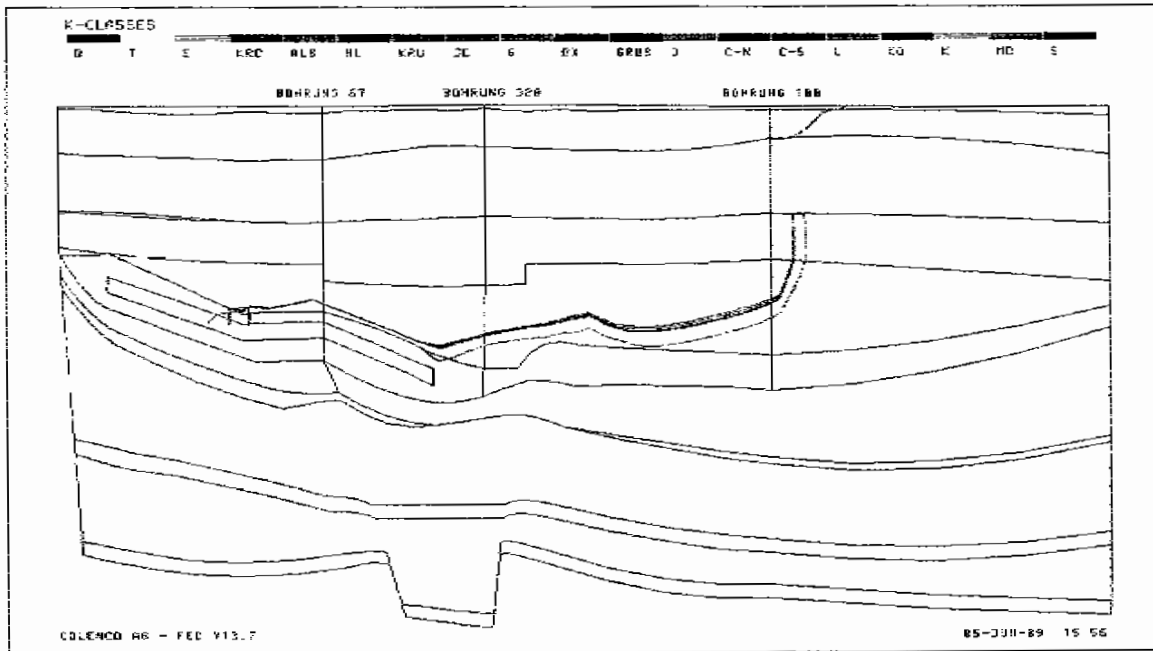


Abb. C-3: Rechenfall R29: Fließwege der Gruppe B (teilweise durch Bohrungen verlaufend) im Schnitt 8-9





Ein Unternehmen der Columbus System AG

CH-5401 EADEN/SCHWEIZ

## **SCHACHTANLAGE KONRAD, SALZGITTER**

**Modellrechnungen mit dem Programm FEM 301  
für ein alternatives  
geologisches/hydrogeologisches Modell  
Auftrags-Nr. 9K 352126.39**

## **RECHNUNGEN ZUM SCHACHTVERSCHLUSS**

17. August 1989

Der Bericht wurde im Auftrag der PHYSIKALISCH-TECHNISCHEN BUNDESANSTALT (PTB) erstellt. Die PTB behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit Zustimmung der PTB zitiert, ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

## INHALTSVERZEICHNIS

	<u>Seite</u>
1	1
2	2
2.1	2
2.2	3
3	4
4	5
4.1	5
4.2	5
4.3	11
5	13
5.1	13
5.2	14
5.3	15
LITERATURVERZEICHNIS	16
TABELLEN	17
ABBILDUNGEN	27
ANHANG; FARBIGE ABBILDUNGEN	41

**EINLEITUNG**

Die Modellrechnungen mit dem Programm FEM301 für ein alternatives geologisches/hydrogeologisches Modell werden in [1] beschrieben . Als Zusatzaufgabe wird zudem untersucht, inwiefern die im Standortgebiet gelegenen Bohrungen die Langzeitsicherheit eines Endlagers Konrad beeinflussen können [2].

Eine zweite, im vorliegenden Bericht behandelte Zusatzaufgabe besteht in der Analyse des Einflusses der beiden Schächte Konrad 1 und Konrad 2 auf die Fließverhältnisse des Grundwassers. Insbesondere soll hierbei die hydraulische Wirksamkeit der verschiedenen Konzepte zum Schachtverschluss beurteilt werden.

## 2 AUFBAU DES SCHACHTVERSCHLUSSES

## 2.1 Konzept

Das Konzept und die Auslegung des Schachtverschlusses sind in [3] beschrieben. Das Schachtverschlusssystem besteht aus den folgenden 4 Hauptkomponenten (siehe Abbildung 2-1):

- statisch tragendes Widerlager (Schachtpfropfen)
- "hydrostatische Dichtung" (zwischen Oberkante Widerlager und der Schachtkopfsicherung)
- "hydraulische Dichtung" (unterhalb Widerlager)
- Schachtverfüllung (zwischen Grubengebäude und hydraulischer Dichtung).

Von den im folgenden behandelten 4 Verschlussvarianten beziehen sich 2 Varianten auf den vorstehend beschriebenen Schachtverschluss, während die Varianten 3 und 4 Weiterentwicklungen gemäss [4] darstellen (siehe Abbildung 2-2).

Als Schachtverfüllung zwischen Grubengebäude und Asphaltdichtung wird Beton (Variante 1) oder Ton (Varianten 2 bis 4) eingebracht, wobei im letzteren Fall die Auflockerungszone durch die Tone ebenfalls abgedichtet wird. In Variante 4 werden die untersten, im Bereich des Oxford und des Oberjura gelegenen Schachtabschnitte lediglich mit Haufwerk verfüllt. Die Grenzen zwischen den Verfüllmedien verlaufen demnach wie folgt:

Schichteinheit (vgl. Tab. 3-1)	Verschlussvariante			
	v1	v2	v3	v4
q / kro	Asphalt	Asphalt	Asphalt	Asphalt
alb				Ton
kru			Ton	
jo	Beton	Ton	Ton	Haufwerk
ox				

## 2.2 Abmessungen, Durchlässigkeitsbeiwerte

Die Radien der Schächte und der sie umgebenden Auflockerungszonen (AZ) betragen

$$\begin{aligned} R_{\text{Schacht}} &= 4,5 \text{ m} \\ R_{\text{AZ}} &= 8,5 \text{ m} , \text{ d.h. Dicke der Auflockerungszone } 4,0 \text{ m} \end{aligned}$$

und die entsprechenden Querschnittsflächen sind

$$\begin{aligned} A_{\text{Schacht}} &= 64 \text{ m}^2 \\ A_{\text{AZ}} &= 163 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Neben den  $k_f$ -Werten der Schachtverfüllung ist vor allem die Durchlässigkeit der Auflockerungszone charakteristisch für die hydraulischen Eigenschaften des Verschlusses.

Die massgebenden Parameter der untersuchten 4 Varianten sind in Tabelle 2-1 zusammengefasst.

## UMSETZUNG IM FEM301-MODELL

Die in Kapitel 2 beschriebenen Systeme der Schachtverschlüsse werden im FEM301-Modell vereinfacht wiedergegeben.

Die Darstellung der Schächte Konrad 1 (K1) und Konrad 2 (K2) erfolgt durch eindimensionale Elemente, denen hydraulische Transmissivitäten zugewiesen werden. Die räumliche Lage dieser neuen Elemente ist in Abbildung 3-1 und Anhang A-1 illustriert, und Tabelle 3-1 gibt eine Uebersicht über die neu eingeführten Durchlässigkeitsklassen.

Bei den Varianten 1 und 2 werden die "hydrostatische" und "hydraulische" Dichtung in beiden Schächten mit dem Widerlager zu einem oberen, die mit Beton oder Ton verfüllten Bereiche zu einem unteren Abschnitt zusammengefasst. Die Grenze zwischen oberem und unterem Abschnitt liegt bei diesen Varianten an der Basis der Unterkreide (kru). In der Variante 3 liegt die Grenze zwischen der Ton- und der Asphaltverfüllung an der Basis des Alb und in der Variante 4 am Top des Alb.

Wie aus Tabelle 2-1 ersichtlich ist, ist für die Varianten 1 bis 3 in den oberen Schachtabschnitten nur die Durchlässigkeit der Auflockerungszonen von Bedeutung. Dasselbe gilt für die Variante 1 auch in den unteren Abschnitten, da die hydraulische Transmissivität der Auflockerungszone um mehr als 2 Grössenordnungen über derjenigen der Verfüllung liegt. Demzufolge sind zur Berechnung der Schachttransmissivitäten je nach Variante unterschiedliche Querschnittsflächen zu berücksichtigen.

## 4 MODELLERGEBNISSE

## 4.1 Rechenfälle

Die mit dem erweiterten FEM301-Modell berechneten Modellvarianten unterscheiden sich von den zugrunde gelegten Modellfällen R16, R30 und R34 aus [2] sowie in den angewandten Verschlussvarianten V1 bis V4 wie folgt:

zugrunde gelegter Rechenfall ohne Schächte	Rechenfälle mit Schächten	Verschlussvariante
R16 Variation der Durchlässigkeiten in den alten Bohrungen	R18, R22, R23, R24 R20, R21, R25 R26, R27, R28	V1 V2 V3
R30 Kluftsystem oberhalb Grube	R33	V4
R34 Referenzfall	R35, R38, R39	V4

Der Rechenfall R35 basiert auf dem Fall R34, welcher als Referenzfall der Modellierung unter Berücksichtigung der Bohrungen definiert wird. Die Fälle R18 und R20 bis R28 basieren auf dem Fall R16, in dem die  $k_f$ -Werte der Bohrungen variiert werden. Dem Fall R33 liegt R30 zugrunde, in welchem ein grossräumiges Kluftsystem des Oxford und des Kimmeridge über der Grube postuliert wird. Die massgebenden Durchlässigkeiten und Transmissivitäten der im folgenden beschriebenen Rechenfälle sind in Tabelle 4-1 zusammengefasst.

## 4.2 Potentiale und Wasserflüsse

Im folgenden werden die berechneten Potentiale an Hand der Abbildungen B-1 bis B-16 des Anhangs, sowie der Abbildungen 4-1 bis 4-8 diskutiert. Letztere zeigen ebenfalls die Fliessraten in den beiden Schächten Konrad 1 und Konrad 2 (bzw. in den dazugehörigen Auflockerungszonen).

Die Wasserflüsse durch das Grubengebäude und in den Ansatzpunkten der angrenzenden 1D-Elemente der Schächte und Strecken sind in Tabelle 4-2 zusammengestellt. Die Tabellen 4-3 und 4-4 enthalten die Wasserflüsse entlang dem Schacht Konrad 1 bzw. Konrad 2, berechnet in der Mitte der jeweils durchfahrenen geologischen Schichten.

(i) Rechenfall R16 (ohne Schächte)

Abbildung B-1 zeigt den dominierenden Einfluss des Hilssandsteins, welcher Wasser nach oben in das Alb und nach unten in die Unterkreide einspeist. Das Potential ist maximal im Hilssandstein (114 m) und fällt gegen die Grube auf 105,5 m ab.

(ii) Rechnungen zur Verschlussvariante 1  
(Fälle R18, R22 bis R24)

In der Variante 1 werden die unteren Schachtabchnitte mit Beton verfüllt ohne spezielle Behandlung der umgebenden Auflockerungszone ( $k_{f(AZ)} = 10^{-4}$  m/s).

Im Fall R18 ist auch oberhalb des Widerlagers die Durchlässigkeit der Auflockerungszone auf  $10^{-4}$  m/s gesetzt. Damit entsteht über den Schacht K2 eine hochdurchlässige Verbindung des Hilssandsteins mit der Modelloberfläche und der Grube, sowie eine direkte Verbindung Grube-Oberfläche über den Schacht K1. Dadurch fällt das Potential im Hilssandstein um rund 15 m auf 98,5 m und in der Grube um 8 m auf 97,5 m (siehe Abbildungen 4-1, 4-2 und B-2).

Der Fluss entlang K2 nach oben beträgt gemäss Abbildung 4-2 maximal 36 l/min und nach unten 2,6 l/min (vgl. auch Tabelle 4-4). Entlang K1 nach oben fliessen ab Grubengebäude 4,7 l/min und auch der Abfluss entlang der Nordstrecke nimmt leicht zu. Zudem erhöht sich der Zufluss über die Doggerstrecke (Schacht K2 unterhalb Grube) von 0,4 auf 1,7 l/min. Insgesamt steigt der Durchfluss durch die Grube von 1,4 l/min im Fall R16 auf nunmehr 6,8 l/min im Fall R18 (siehe Tabelle 4-2).

In den Fällen R23 und R24 wird die Durchlässigkeit der Auflockerungszone oberhalb der Widerlager auf  $10^{-8}$  m/s bzw.  $10^{-7}$  m/s reduziert. Dadurch wird die gut durchlässige Verbindung zwischen Hilssandstein und Grube im Bereich der Unterkreide unterbrochen, so dass sich die Resultate wieder dem Fall R16 annähern.

Der Fall R22 schliesslich unterscheidet sich vom Fall R18 lediglich darin, dass die Auflockerungszone im Bereich des Alb als undurchlässiger angenommen wird ( $10^{-8}$  m/s), womit dem erhöhten Tonanteil des Alb Rechnung getragen werden soll. Damit ist nur die Verbindung des Hilssandsteins mit der Oberfläche unterbrochen, nicht jedoch mit der Grube. Es erfolgt daher ein starker Fluss entlang K2 in die Grube, verbunden mit einer Potentialzunahme von 105,5 auf 111 m. Wegen dieser Druckzunahme in der Grube fliesst hier erstmals Wasser entlang der Doggerstrecke nach unten in den Cornbrash (vgl. Tabelle 4-2).



(iii) Rechnungen zur Verschlussvariante 2  
(Fälle R20, R21, R25)

In der Variante 2 sind die Schächte und Auflockerungszonen zwischen Grubengebäude und der Basis Unterkreide mit Tonen verfüllt bzw. abgedichtet. Die angenommene Durchlässigkeit der Tone von  $10^{-9}$  m/s ist geringer als diejenige der umgebenden Gesteine (jo:  $5 \cdot 10^{-9}$  m/s, ox:  $10^{-8}$  m/s), so dass zur Berechnung der Potentiale mit FEM301 die Transmissivitäten der entsprechenden Schachtelemente gleich Null gesetzt werden müssen. Hingegen wird für die nachfolgende Berechnung der Wasserflüsse in den Schächten K1 und K2 eine Transmissivität von  $2,3 \cdot 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s verwendet.

Im Fall R20 ist wie bei R18 die Durchlässigkeit der Auflockerungszonen im oberen Schachtbereich auf  $10^{-4}$  m/s gesetzt. Auch hier stellt sich in K2 ein vom Hilssandstein ausgehender starker Fluss (37 l/min) nach oben ein, und das Potential in der Grube fällt auf 98,5 m (Abbildung 4-4). Der Schacht K1 wirkt als starke Senke und entwässert Teile des Kimmeridge und der Unterkreide durch die sonst undurchlässigen Deckschichten (siehe Abbildungen 4-3 unten und B-3).

Die Zu- und Abflüsse in die Grube über die Schächte sind vernachlässigbar. Die Erhöhung des gesamten Grubendurchflusses von 1,4 l/min (R16) auf 3,7 l/min (R20) ist grösstenteils auf den verstärkten Zufluss von unten (aus dem Cornbrash) zurückzuführen.

Durch Vermindern der Durchlässigkeit der Auflockerungszonen auf  $10^{-6}$  m/s und  $10^{-8}$  m/s in den Fällen R21 und R25 ergeben sich auch hier mit dem Fall R16 vergleichbare Resultate.

(iv) Rechnungen zur Verschlussvariante 3  
(Fälle R26, R27, R28)

Die Verschlussvariante 3 unterscheidet sich von der Variante 2 in der höheren Positionierung der oberen Grenze der Tonverfüllung (Basis Alb statt Basis Unterkreide), so dass die Schächte nun auch im Bereich der Unterkreide mit Ton verfüllt sind.

Im Fall R26 wird die Durchlässigkeit der Auflockerungszone wie bei R20 mit  $10^{-4}$  m/s angesetzt und die Tonverfüllung leicht durchlässiger ( $10^{-8}$  m/s statt  $10^{-9}$  m/s) angenommen. Wiederum wird der Hilssandstein entlang K2 mit rund 38 l/min nach oben entwässert, die damit verbundene lokale Potentialabsenkung beträgt 15 m (von 114 m auf 99 m im Hilssandstein). Anders als im Fall R20 ermöglicht die relativ geringe Transmissivität der mit Ton verfüllten Schachtabsnitte im Bereich

der Unterkreide nur geringe Wasserflüsse durch diese Schicht, so dass sich das Potential in der Grube gegenüber dem Fall R16 nur wenig ändert. (vgl. Abbildungen B-3 und B-9 sowie 4-4 und 4-6). Es fällt lediglich um 1 m auf 104,5 m (R20: 98,5 m), und auch der Grubendurchfluss wird kaum erhöht.

Der um eine Größenordnung erhöhte  $k_f$ -Wert der Tonverfüllung im Rechenfall R27 bewirkt gegenüber dem Fall R26 ausser einem ungefähr proportionalen Anstieg der Wasserflüsse längs der Schächte in der Unterkreide keine wesentlichen Änderungen. Die veränderten Potentialverhältnisse entlang des Schachts K2 in den Fällen R26 und R27 ermöglichen einen aufwärtsgerichteten Wasserfluss im Bereich der Unterkreide (Tabelle 4-4). In diesen Fällen stellt K2 auch einen potentiellen Freisetzungspfad für Wasser aus dem Grubengebäude dar (vgl. auch Abschnitt 4.3).

Im Fall R28 wird zusätzlich die Durchlässigkeit der Auflockerungszone um die mit Asphalt verfüllten oberen Schachtbereiche auf  $10^{-6}$  m/s reduziert. Die resultierenden Potentialverteilungen um die Schächte K1 und K2 zeigen qualitative Unterschiede (vgl. Abbildung B-11), indem das Potential im Vergleich zum Fall R16 beim Schacht K1 stark und beim Schacht K2 praktisch nicht beeinflusst wird (siehe auch Potentialprofile der Abbildungen 4-5 und 4-6). Der Grund hierfür liegt in den unterschiedlichen Transmissivitätskontrasten der Schächte zum umgebenden Gestein: Der Schacht K2 wird vom stark wasserführenden Milssandstein gespeist und vermag wegen seiner wesentlich kleineren Transmissivität das hohe Potential in diesem Aquifer nicht abzubauen. Im Gegensatz dazu erfolgt durch den Schacht K1 eine starke Potentialabsenkung in den von ihm drainierten Wasserstauern der Unterkreide und des Alb. Wie in den Fällen R26 und R27 wird auch hier der Wasserfluss durch das Grubengebäude nur unwesentlich erhöht (siehe Tabelle 4-2).

(v) Rechnungen zur Verschlussvariante 4  
(Fälle R33, R35, R38, R39)

Die Schachtverschlüsse der Variante 4 sind wie folgt ausgelegt (vgl. Tabellen 2-1 und 4-1): Die im Oxford und Kimmeridge liegenden Teile werden wie die Grube mit Haufwerk verfüllt, wofür ein  $k_f$ -Wert von  $10^{-4}$  m/s angenommen wird.

Oberhalb der Haufwerkverfüllung wird bis zum Top Alb eine Tonverfüllung eingebracht, welche den Schacht und die umliegende Auflockerungszone auf den Referenzwert von  $k_f = 10^{-8}$  m/s abdichtet. Für die darüberliegende Asphaltverfüllung wird ein alterungsbedingter  $k_f$ -Wert von  $10^{-4}$  m/s angenommen und die Durchlässigkeit

der umgebenden Auflockerung ebenfalls auf  $10^{-4}$  m/s gesetzt.

Der Fall R35 stellt den "Referenzfall Schachtverschluss" dar und basiert auf dem "Referenzfall "Tiefbohrungen" R34, welcher sich vom Fall R16 vor allem in der kleineren Transmissivität der unversetzten Bohrlochabschnitte im Alb und in der Unterkreide unterscheidet, vgl. [2]. Das grossräumige Fließfeld im Fall R34 ist demjenigen von R16 mit Ausnahme der Umgebung dieser Bohrlochabschnitte ähnlich (Abbildungen B-1 und B-13).

Die Berücksichtigung der Schächte im Fall R35 hat wegen der im Alb und in der Unterkreide eingebrachten Tonverfüllung nur sehr kleine Auswirkungen:

Das Potential im Grubengebäude und der Grubendurchfluss werden kaum beeinflusst (Abbildungen 4-7, 4-8 und B-14, Tabelle 4-2). Im Schacht Konrad 1 stellt sich gemäss Abbildung 4-7 und Tabelle 4-3 ein leichter Aufwärtsfluss ein, welcher von anfänglich 0,12 l/min im untersten Teil auf 0,001 l/min im Bereich der Unterkreide abfällt.

Im Referenzfall R35 fliessen damit rund 10 % des Grubendurchflusses entlang des Schachtes K1 aus der Grube ab. Der grösste Teil dieses Wassers exfiltriert abschliessend jedoch in die Schichten Oxford und Kimmeridge, so dass schliesslich nur rund 0,1 % des Grubendurchflusses die Deckschichten entlang K1 durchqueren. An der Basis der Unterkreide fliesst also gemäss den Modellrechnungen unverdünntes Grubenwasser in den Schacht. Erst durch Zuflüsse aus den Deckschichten Unterkreide und Alb erfolgt eine Verdünnung um den Faktor 6. (Diese Werte beruhen auf den Wasserflüssen, welche für die Mitte der entsprechenden Schichten berechnet wurden. Für die Modellierung der Radionuklid-ausbreitung [5] wird die Verdünnung etwas genauer aufgrund von Wasserflüssen ermittelt, welche für die Basis bzw. das Top der Schichten berechnet werden.)

In den Fällen R38 und R39 wird der  $k_f$ -Wert der Tonverfüllung auf  $10^{-7}$  m/s beziehungsweise  $10^{-6}$  m/s erhöht (Tabelle 4-1). Die damit verbundene Zunahme der Transmissivität der Schächte bewirkt einen gleichmässigeren Vertikalgradienten entlang dem Schacht K1 (Abbildung 4-7 oben), während das Potentialprofil entlang K2 wegen des Anschlusses an den Hilssandstein nicht beeinflusst wird (Abbildung 4-8 oben). Annähernd proportional zum  $k_f$ -Wert der Tonverfüllung nehmen die Wasserflüsse entlang den Schächten durch die Unterkreide (nur Schacht K2) und das Alb zu, während sie in der Unterkreide entlang K1 überproportional ansteigen (siehe Tabellen 4-3, 4-4, sowie Abbildungen 4-7, 4-8 unten). Der gesamte Wasserfluss durch das Gruben-

gebäude wächst dagegen nur leicht an (Tabelle 4-2).

Mit steigender Transmissivität der Schächte erhöht sich der Anteil des Grubendurchflusses, welcher entlang K1 aus der Grube abfließt, von 10 % im Referenzfall auf 24 % im Fall R39. Die Exfiltration aus dem Schacht in die Schichten Oxford und Kimmeridge nimmt ab, so dass der Anteil, welcher entlang K1 die Deckschichten durchquert, noch stärker ansteigt:

R35 (Referenzfall):	0,1 % (rund 0,001 l/min)
R38:	2,6 % (rund 0,03 l/min)
R39:	24 % (rund 0,4 l/min)

Die Verdünnung in den Deckschichten nimmt stark ab und ist im Fall R39 nicht mehr signifikant.

Im Rechenfall R33 wird für die über dem Grubengebäude liegenden Bereiche des Oxford und des Kimmeridge ein durch das Auffahren des Grubengebäudes verursachtes grossräumiges Kluftsystem postuliert. Die angenommenen mittleren Kluftweiten von 1 mm und Kluftabstände von 1 m ergeben eine mit dem "parallel-plate" Ansatz konservativ abgeschätzte grossräumige Durchlässigkeit von  $10^{-3}$  m/s, die im Fall R33 auch für das Grubengebäude verwendet wurde (R16:  $k_f = 10^{-4}$  m/s im Grubengebäude).

Somit sind der mit Haufwerk verfüllte Schachtteil und die Auflockerungszone nicht durchlässiger als das umgebende Gestein, so dass für die FEM301-Rechnung die Transmissivität der entsprechenden 1D-Elemente gleich Null zu setzen ist.

Die Wirkung des grossräumigen Kluftsystems auf das hydraulische Potential in der Umgebung der Grube ist gering, da die Potentialverteilung innerhalb des Oxford und Kimmeridge auf Grund der herrschenden Durchlässigkeitskontraste bereits im Fall R16 sehr flach ist und durch den hohen  $k_f$ -Wert von  $10^{-3}$  m/s in der hier betrachteten Auflösung nicht mehr beeinflusst werden kann (Abbildungen 4-7, 4-8 und B-12).

Hingegen wird der Grubendurchfluss im Vergleich zum Fall R16 annähernd halbiert (Tabelle 4-2). Der Grund hierfür liegt in der Verkleinerung des hydraulisch wirksamen Anstromquerschnittes der Grube innerhalb des im wesentlichen horizontal von Süden nach Norden verlaufenden Strömungsfeldes. Diese Verkleinerung des Anstromquerschnittes ist die Folge der "Parallelschaltung" der hochdurchlässigen Teile des Oxford und Kimmeridge, welche als zusätzliche Wasserleiter mit der Grube konkurrieren.

Mit einem zusätzlichen Rechenfall (R40) wird der Einfluss der Schachtverfüllung zwischen der Basis Un-

terkreide und dem Grubengebäude (Haufwerk) untersucht. Bei einer Erhöhung des  $k_f$ -Wertes von  $10^{-4}$  m/s im Referenzfall auf  $10^{-3}$  m/s erfahren die Resultate keine relevanten Änderungen: Die Potentiale ändern sich um weniger als 10 cm, der Grubendurchfluss erhöht sich nicht und die Wasserflüsse entlang den Schächten durch die Deckschichten bleiben innerhalb von 0,5 % gleich. Einzig die Aufteilung zwischen den Flüssen entlang den Schächten in unmittelbarer Grubenumgebung und den "diffusen" Zu- und Abflüssen in bzw. aus der Grube über das intakte umgebende Wirtgestein erfährt eine gewisse Verschiebung. Auf eine vollständige Auswertung dieses Rechenfalls wird deshalb verzichtet.

#### 4.3 Trajektorien

Mit Hilfe einer Vielzahl von Trajektorien, deren Startpunkte gleichmässig über das Volumen der Grube verteilt sind, soll abgeklärt werden, ob die Grubenschächte potentielle Wasserwegsamkeiten zur Biosphäre darstellen. Hierzu werden je 129 Trajektorien aus 3 Flächen (TOP, MID, BOT) in der Grube gestartet (siehe [2]) und ihr räumlicher Verlauf analysiert. Zur Beschleunigung des Rechenverfahrens werden die Trajektorien lediglich innerhalb eines Teilmodells, welches die Umgebung des Grubengebäudes mit den darüberliegenden Schichten umfasst, mit dem Programm TRACK berechnet.

Der Verlauf der Trajektorien ist für die behandelten Rechenfälle in den Abbildungen C-1 bis C-16 des Anhangs am Beispiel der im oberen Bereich der Grube gestarteten Fliesswege (Startpunktfläche TOP) dargestellt.

Eine zusammenfassende Statistik zum räumlichen Verlauf der Trajektorien ist in Tabelle 4-5 gegeben. Von Interesse sind hier die Anzahl bzw. prozentualen Anteile der Trajektorien, welche in den Schacht K1 oder K2 eintreten.

Als den Trajektorienverlauf dominierende Senke erweist sich gemäss Tabelle 4-5 der Schacht K1 in den Fällen R16 (vgl. Abbildung C-2) und R20 (C-3). Vereinzelt Fliesswege zu K1 ergeben sich ausserdem in den Fällen R21, R26 bis R28, R38 und R39 (Abbildungen C-4, C-9 bis C-11, C-15 und C-16). Fliesswege zum Schacht K2 resultieren einzig im Fall R27.

In den übrigen Rechenfällen und insbesondere in den Fällen R35 (Referenzfall Schachtverschluss) und R33 (grossräumiges Kluftsystem) erreicht keine Trajektorie einen Schacht. Die im Fall R33 extrem flache Potentialverteilung im Grubengebäude und dem darüberliegenden Oxford und Kimmeridge hat eine starke Zunahme

der numerischen bedingten Oszillation der Fliesswege und damit den Abbruch des Trajektorienverlaufes zur Folge (siehe Tabelle 4-5).

Die Trajektorien zum Schacht K1 erreichen diesen - ausser im Fall R18 - durchwegs in den Schichten Unterkreide oder Alb. Im Fall R18 tritt der grösste Teil der Fliesswege im Kimmeridge in den Schacht ein, ein Fliessweg führt direkt aus der Grube in den Schacht.

Die Fliesszeiten zwischen dem Grubengebäude und dem Schacht durch die Schichten Oxford, Kimmeridge, Unterkreide und (teilweise) Alb liegen in den Rechenfällen R26 bis R28, R38 und R39 durchwegs über  $10^5$  Jahren. In den übrigen drei Fällen betragen die minimalen Laufzeiten rund 1000 Jahre (R18, ohne direkten Fliessweg Grube - Schacht), 2000 Jahre (R20) bzw. 30000 Jahre (R21).

Verglichen mit dem Anteil des Grubendurchflusses, welcher entlang des Schachtes K1 fliesst, ist die Zahl der Trajektorien zu K1 gering. Es ist zudem auffallend, dass nur eine der insgesamt rund 270 Trajektorien, welche in den betrachteten Rechenfällen zu K1 führen, direkt aus dem Grubengebäude in diesen übertritt. Innerhalb des Grubengebäudes beträgt der horizontale, Süd-Nord gerichtete Gradient aufgrund der Modellrechnungen  $5 \cdot 10^{-6}$  m/m. Der Abfluss entlang K1 entspricht damit in den Fällen R35 (Referenzfall), R38 und R39 einer Stromröhre innerhalb des Grubengebäudes von rund 4 000 m<sup>2</sup> bis 13 000 m<sup>2</sup> Querschnittsfläche, welche bei einem halbkreisförmigen Querschnitt einen Radius zwischen 50 m und 90 m besitzt. Die Attraktorwirkung des Schachtes reicht damit von einigen 10 m bis knapp 100 m. Dies erklärt zum Teil die geringe Zahl von direkten Fliesswegen aus dem Grubengebäude in den Schacht. Ein weiterer Grund dürfte numerisch bedingt und auf die relativ ausgedehnten Elemente des Grubengebäudes im FE-Netz zurückzuführen sein.

Für die Beurteilung des Einflusses der beiden Schächte und die Wirksamkeit der verschiedenen Konzepte zum Schachtverschluss ist deshalb wie folgt vorzugehen:

- Die direkte Freisetzung von Grubenwasser entlang eines Schachtes (d.h. ohne "Umweg" durch intaktes Gestein) ist aufgrund der Wasserflussraten (Abschnitt 4.2) zu beurteilen.
- Die Fliesswegberechnung mit dem Programm TRACK ermöglicht, eine Freisetzung abzuschätzen, welche entlang eines zeitlich kurzen Weges vom Grubengebäude durch die Schichten Oxford und Kimmeridge zum Schacht K1 und anschliessend entlang des Schachtes erfolgt.

## 5 SCHLUSSFOLGERUNGEN

## 5.1 Bedeutung der Schächte im grossräumigen Fliessystem

Das grossräumige Fliessystem wird im wesentlichen durch die Aquifere und deren Ausbissniveaus bestimmt. Im Bereich der Grube ist insbesondere der hochdurchlässige Hilssandstein von Bedeutung, indem dieser die angrenzenden Einheiten sowie - teilweise indirekt über den Cornbrash - den Kimmeridge, das Oxford und das Grubengebäude mit Wasser speist.

Durch die Schächte Konrad 1 und Konrad 2 werden die Verhältnisse in Abhängigkeit von der gewählten Verschlussvariante bzw. den Transmissivitäten der Schächte und Auflockerungszonen verändert.

Als möglicher Freisetzungspfad für Wasser aus der Grube durch die Deckschichten zur Biosphäre erweist sich in den meisten Fällen lediglich der am nördlichen Grubenende angebundene Schacht Konrad 1, da im Schacht Konrad 2 wegen des Kontaktes zum unter Ueberdruck stehenden Hilssandstein ein abwärts gerichteter Fluss in die Grube erfolgt (Ausnahmen bilden lediglich zwei Rechenfälle, R26 und R27, zur Verschlussvariante 3).

Das Fliessystem durch das Grubengebäude und entlang der Schächte ist in Abbildung 5-1 schematisch dargestellt. Diese Abbildung zeigt, wie die Kombination der axialen Transmissivitäten der beiden Schächte im Bereich Unterkreide und Alb das Potential im Grubengebäude, den Wasserfluss durch die Grube und die Attraktorwirkung des Schachtes K1 für Fliesswege beeinflussen.

Der einflussreichste Parameter für die Modellierung ist die Transmissivität des Schachtes Konrad 1 und seiner Auflockerungszone im Bereich der Aquitarde Alb und Unterkreide. Die mittlere (axiale) Transmissivität ergibt sich aus der Formel für eine "Schaltung in Serie" gemäss

$$T = \frac{T_{alb} \cdot T_{kru}}{T_{alb} \cdot d_{kru} + T_{kru} \cdot d_{alb}}$$

wobei  $d_{alb}$  und  $d_{kru}$  die Mächtigkeiten des Alb und der Unterkreide bezeichnen ( $d_{alb} = 315m$ ,  $d_{kru} = 295m$ ).

In der Abbildung 5-2 ist die starke Korrelation der wichtigsten Modellaussagen zum Wasserfluss und zum Trajektorienverlauf mit dieser Grösse ersichtlich: eine erhöhte Durchlässigkeit von K1 durch das Alb und die Unterkreide ist mit einem erhöhten Wasserfluss und mit vermehrter Freisetzung entlang K1 verbunden. Als den Trajektorienverlauf bestimmender kritischer Schwell-

lenwert für die mittlere Transmissivität entlang K1 kann  $T=10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  entsprechend einem  $k_f$ -Wert von rund  $5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$  abgelesen werden.

## 5.2 Die Schächte als potentielle Freisetzungspfade für Grubenwässer

Der Einfluss der beiden Schächte auf die Langzeitsicherheit des geplanten Endlagers und die Wirksamkeit des Schachtverschlusses ist wie folgt zu beurteilen:

- direkte Freisetzung entlang eines Weges Grubengebäude - Schacht aufgrund der Wasserflüsse im Schacht
- Freisetzung entlang eines Weges Grubengebäude - Oxford - (evtl.) Kimmeridge - (evtl.) Unterkreide - Schacht aufgrund der Fließwegberechnungen mit dem Programm TRACK

Einen potentiellen Freisetzungspfad stellt nur der Schacht Konrad 1 dar.

Im Referenzfall fließt ein Anteil von 0,1 % des Grubendurchflusses (entsprechend rund 0,001 l/min) entlang des Schachtes K1 durch die Deckschichten. Innerhalb der Deckschichten erfährt der Abfluss eine Verdünnung um den Faktor 6.

Mit steigender Transmissivität der Schächte wächst der Wasserfluss längs K1 absolut und anteilmässig stark an.

Potentiell sicherheitsrelevante Freisetzungspfade führen in den Verschlussvarianten 4 und 1 direkt vom Grubengebäude in den Schacht, Fließwege vom Grubengebäude durch intaktes Gestein zum Schacht sind statistisch wenig häufig und weisen längere Fließzeiten auf. In den Verschlussvarianten 2 und 3, in denen auch der Schachtabschnitt in den Schichten Oxford und Kimmeridge relativ dicht verfüllt ist, führen die potentiell sicherheitsrelevanten Pfade durch intaktes Gestein.

Die quantitative Bewertung der resultierenden Wasserflüsse entlang K1 durch die Deckschichten und der potentiell sicherheitsrelevanten Freisetzungswegen erfordert Modellrechnungen zur Nuklidausbreitung. Diese werden in [5] durchgeführt und diskutiert.

## 5.3 Fließweg der Nuklidausbreitung (Referenzfall R35)

Die Durchführung einer Nuklidausbreitungsrechnung erfordert die Vorgabe eines Fließweges durch Angabe der Weglänge und Fließzeit (siehe [5]). Der potentiell



sicherheitsrelevante Fliessweg für den Referenzfall R35 ist wie folgt definiert:

Der Freisetzungspfad führt vom Grubengebäude entlang dem Schacht Konrad 1 direkt durch das Oxford, das Kimmeridge, die Unterkreide und das Alb in die durchlässige Oberkreide. Bei einer Fliessporosität von 10 % beträgt die Fliesszeit durch die 600 m mächtige Tonverfüllung in den Deckschichten rund  $10^4$  Jahre. Ferner ergeben sich aus den in den Tabellen 4-2 und 4-3 aufgeführten Wasserflüssen folgende Reduktions- und Verdünnungsfaktoren:

Anteil Abfluss K1 am Grubendurchfluss:

$$F_1 = 0,13 : 1,2 = 10^{-1}$$

Abnahme des Wasserflusses bis Mitte Unterkreide:

$$F_2 = 0,0011 : 0,13 = 10^{-2}$$

Verdünnung bis Top Alb:

$$F_3 = 0,0011 : 0,0065 = 0,16$$

Die Faktoren  $F_1$  und  $F_2$  verringern den durch den Schacht freigesetzten Anteil am Nuklidinventar, nicht jedoch die Nuklidkonzentration im Wasser. Lediglich der Faktor  $F_3$  bewirkt eine Verdünnung beim Fluss durch das Deckgebirge, wo nicht kontaminiertes Wasser aus dem Umgebungsgestein hinzugemischt wird.

## LITERATURVERZEICHNIS

Nr.	Autor	Titel
1	MC ING	Schachtanlage Konrad, Salzgitter: Modellrechnungen mit dem Programm FEM301 für ein alternatives geologisches/hydrogeologisches Modell, Schlussbericht. 15. November 1988
2	COLENCO	Schachtanlage Konrad, Salzgitter: Modellrechnungen mit dem Programm FEM301 für ein alternatives geologisches/hydrogeologisches Modell, Auswirkungen der bestehenden Tiefbohrungen. 17. August 1989
3	PTB	Plan, Endlager für radioaktive Abfälle, Schachtanlage Konrad, Salzgitter. Stand September 1986.
4	PTB	Plan, Endlager für radioaktive Abfälle, Schachtanlage Konrad, Salzgitter. Stand März 1989.
5	COLENCO	Schachtanlage Konrad, Salzgitter: Einfluss der bestehenden Tiefbohrungen und des Schachtverschlusses. Modellierung der Radionuklidausbreitung. August 1989

## TABELLEN

2-1	Parameter der Verschlussvarianten
3-1	Durchlässigkeitsklassen (K-Klassen) der 1D-Schachtelemente und der umgebenden geologischen Einheiten
4-1	Durchlässigkeiten $k_f$ (m/s) der Auflockerungszone und der Schachtverfüllung und Transmissivitäten $T$ (m <sup>2</sup> /s) der 1D-Schachtelemente
4-2	Durchflüsse durch das Grubengebäude, Flüsse entlang Schächten und Strecken
4-3	Wasserflüsse im Schacht K1
4-4	Wasserflüsse im Schacht K2
4-5	Statistik des Trajektorienverläufe

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
<b>Untergrenze Asphalt:</b>	<b>Basis kru</b>	<b>Basis kru</b>	<b>Basis alb</b>	<b>Top alb</b>
<b>Obere Verfüllung:</b>	<b>Asphalt</b>	<b>Asphalt</b>	<b>Asphalt</b>	<b>Asphalt</b>
Durchlässigkeit (m/s)	0	0	0	10 <sup>-4</sup> 1)
Querschnitt (m <sup>2</sup> )				64
Transmissivität (m <sup>3</sup> /s)				6,4·10 <sup>-3</sup>
<b>Auflockerungszone:</b>				
Durchlässigkeit (m/s)	10 <sup>-8</sup> bis 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-8</sup> bis 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-6</sup> bis 10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>
Querschnitt (m <sup>2</sup> )	163	163	163	163
Transmissivität (m <sup>3</sup> /s)	1,6·10 <sup>-6</sup> bis 1,6·10 <sup>-2</sup>	1,6·10 <sup>-6</sup> bis 1,6·10 <sup>-2</sup>	1,6·10 <sup>-4</sup> bis 1,6·10 <sup>-2</sup>	1,6·10 <sup>-2</sup>
<b>Untere Verfüllung:</b>	<b>Beton</b>	<b>Ton</b>	<b>Ton</b>	<b>Ton 2)</b>
Durchlässigkeit (m/s)	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-8</sup> bis 10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>
Querschnitt (m <sup>2</sup> )	64	227	227	227
Transmissivität (m <sup>3</sup> /s)	6,4·10 <sup>-5</sup>	2,3·10 <sup>-7</sup>	2,3·10 <sup>-6</sup> bis 2,3·10 <sup>-5</sup>	2,3·10 <sup>-6</sup>
<b>Auflockerungszone:</b>				
Durchlässigkeit (m/s)	10 <sup>-4</sup>	(verfüllt)	(verfüllt)	(verfüllt)
Querschnitt (m <sup>2</sup> )	163			
Transmissivität (m <sup>3</sup> /s)	1,6·10 <sup>-2</sup>			
<b>Bemerkungen zu Variante 4:</b> 1) Asphalt-Durchlässigkeit nach 10 <sup>4</sup> Jahren 2) unterhalb kru: 10 <sup>-4</sup> bis 10 <sup>-3</sup> m/s (Haufwerk)				

**Tabelle 2-1:** Parameter der Verschlussvarianten

K-Klasse <sup>1)</sup>	Kurz-bez.	hydrogeol. Einheit	Schacht K1 K-Klasse	Schacht K2 K-Klasse
10	q	Quartär	951	961
140	kro-S	Plänerkalke, Sübabschnitt	952	962
50	alb	Alb	953	963
60	H1	Hilssandstein	--- <sup>2)</sup>	964
70	kru	Unterkreide	955	965
80	jo	Oberjura	956	966
90	ox	Oxford	957	967

1) : Erläuterungen zu den K-Klassen finden sich in [1]

2) : H1 ist im Schacht K1 nicht vorhanden

**Tabelle 3-1:** Durchlässigkeitsklassen (K-Klassen) der 1D-Schachtelemente und der umgebenden geologischen Einheiten

geol.	$k_f(m/s)$			$T(m^3/s)$			$k_f(m/s)$			$T(m^3/s)$			$k_f(m/s)$			$T(m^3/s)$		
	AZ	Verf.	total	AZ	Verf.	total	AZ	Verf.	total	AZ	Verf.	total	AZ	Verf.	total	AZ	Verf.	total
<b>VERSCHLUSSVARIANTE 1: Grenze Asphalt/Beton bei Basis Unterkreide</b>																		
		<b>R18</b>			<b>R22</b>			<b>R23</b>			<b>R24</b>							
q	$10^{-4}$	0	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	0	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-8}$	0	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$10^{-7}$	0	$1,6 \cdot 10^{-5}$						
kro	$10^{-4}$	0	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	0	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-8}$	0	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$10^{-7}$	0	$1,6 \cdot 10^{-5}$						
alb	$10^{-4}$	0	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-8}$	0	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$10^{-8}$	0	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$10^{-7}$	0	$1,6 \cdot 10^{-5}$						
hl	$10^{-4}$	0	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	0	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-8}$	0	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$10^{-7}$	0	$1,6 \cdot 10^{-5}$						
kcu	$10^{-4}$	0	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	0	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-8}$	0	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$10^{-7}$	0	$1,6 \cdot 10^{-5}$						
jo	$10^{-4}$	$10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$						
ox	$10^{-4}$	$10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$						

**VERSCHLUSSVARIANTE 2: Grenze Asphalt/Ton bei Basis Unterkreide**

		<b>R20</b>			<b>R21</b>			<b>R25</b>										
q	$10^{-4}$	0	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-6}$	0	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$10^{-8}$	0	$1,6 \cdot 10^{-6}$									
kro	$10^{-4}$	0	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-6}$	0	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$10^{-8}$	0	$1,6 \cdot 10^{-6}$									
alb	$10^{-4}$	0	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-6}$	0	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$10^{-8}$	0	$1,6 \cdot 10^{-6}$									
hl	$10^{-4}$	0	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-6}$	0	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$10^{-8}$	0	$1,6 \cdot 10^{-6}$									
kcu	$10^{-4}$	0	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-6}$	0	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$10^{-8}$	0	$1,6 \cdot 10^{-6}$									
jo	$10^{-9}$	$10^{-9}$	0	$10^{-9}$	$10^{-9}$	0	$10^{-9}$	$10^{-9}$	0									
ox	$10^{-9}$	$10^{-9}$	0	$10^{-9}$	$10^{-9}$	0	$10^{-9}$	$10^{-9}$	0									

**Tabelle 4-1:** Durchlässigkeiten  $k_f(m/s)$  der Auflockerungszone und der Schachtverfüllung und Transmissivitäten  $T(m^3/s)$  der 1D-Schachtelemente (Rechenfälle der Verschlussvarianten 1 und 2)

geol.	$k_f(m/s)$		$T(m^3/s)$	$k_f(m/s)$		$T(m^3/s)$	$k_f(m/s)$		$T(m^3/s)$	$k_f(m/s)$		$T(m^3/s)$
Einheit	AZ	Verf.	total	AZ	Verf.	total	AZ	Verf.	total	AZ	Verf.	total

VERSCHLUSSVARIANTE 3: Grenze Asphalt/Ton bei Basis Alb

	R26			R27			R28		
q	$10^{-4}$	0	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	0	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-6}$	0	$1,6 \cdot 10^{-4}$
kro	$10^{-4}$	0	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	0	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-6}$	0	$1,6 \cdot 10^{-4}$
alb	$10^{-4}$	0	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	0	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-6}$	0	$1,6 \cdot 10^{-4}$
hl	$10^{-4}$	0	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	0	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$10^{-6}$	0	$1,6 \cdot 10^{-4}$
kru	$10^{-8}$	$10^{-8}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$10^{-7}$	$10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$
jo	$10^{-8}$	$10^{-8}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$10^{-7}$	$10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$
ox	$10^{-8}$	$10^{-8}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$10^{-7}$	$10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$

VERSCHLUSSVARIANTE 4: Grenze Asphalt/Ton bei Top Alb, Haufwerk in ox und jo

	R33			R35			R38			R39		
q	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$
kro	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$
alb	$10^{-8}$	$10^{-8}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$10^{-8}$	$10^{-8}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$
hl	$10^{-8}$	$10^{-8}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$10^{-8}$	$10^{-8}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$
kru	$10^{-8}$	$10^{-8}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$10^{-8}$	$10^{-8}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$
jo	$10^{-3}$	$10^{-3}$	0	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$
ox	$10^{-3}$	$10^{-3}$	0	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$

Tabelle 4-1 (Forts.): Durchlässigkeiten  $k_f(m/s)$  der Auflockerungszone und der Schachtverfüllung und Transmissivitäten  $T(m^3/s)$  der 1D-Schachtelemente (Rechenfälle der Verschlussvarianten 3 und 4)

Rechenfall	Durchfluss durch das Grubengebäude		Fehlermass [%]	d a v o n :			
	[l/min]	[m <sup>3</sup> /Jahr]		Fluss durch Nordstrecke [l/min]	Fluss durch Doggerstrecke (Schacht K2) [l/min]	Fluss durch Schacht K1 [l/min]	Fluss durch Schacht K2 [l/min]
<b>REFERENZFÄLLE OHNE SCHÄCHTE:</b>							
R16	1,4	740	7	-0,04	0,43	-	-
R30	0,74	390	16	-0,03	0,24	-	-
R34	1,2	630	3	-0,03	0,23	-	-
<b>VERSCHLUSSVARIANTE 1:</b>							
R18	6,8	3570	13	-0,05	1,72	-4,74	2,33
R22	4,4	2310	26	-0,06	-0,50	-0,23	4,01
R23	1,4	750	6	-0,04	0,43	-0,13	0,01
R24	1,5	770	6	-0,04	0,43	-0,15	0,05
<b>VERSCHLUSSVARIANTE 2:</b>							
R20	3,7	1930	5	-0,10	1,55	3·10 <sup>-6</sup>	4·10 <sup>-6</sup>
R21	1,8	940	13	-0,04	0,41	-4·10 <sup>-6</sup>	3·10 <sup>-5</sup>
R25	1,4	740	7	-0,04	0,43	-4·10 <sup>-6</sup>	6·10 <sup>-7</sup>
<b>VERSCHLUSSVARIANTE 3:</b>							
R26	1,4	750	6	-0,04	0,50	-4·10 <sup>-5</sup>	-3·10 <sup>-6</sup>
R27	1,5	770	4	-0,04	0,52	-4·10 <sup>-4</sup>	-3·10 <sup>-4</sup>
R28	1,5	780	8	-0,04	0,44	-4·10 <sup>-4</sup>	4·10 <sup>-4</sup>
<b>VERSCHLUSSVARIANTE 4:</b>							
R33	0,74	390	16	-0,03	0,24	8·10 <sup>-10</sup>	2·10 <sup>-9</sup>
R35	1,2	640	2	-0,03	0,23	-0,13	0,01
R38	1,2	660	2	-0,03	0,23	-0,15	0,06
R39	1,6	870	4	-0,03	0,21	-0,39	0,48

**Tabelle 4-2:** Durchflüsse durch das Grubengebäude, Flüsse entlang Schächten und Strecken (positive Werte: Zufluss, negative Werte: Abfluss)



	g	kro	alb	hl	kru	jo	ox
<b>VERSCHLUSSVARIANTE 1:</b>							
R18	-2,66	4,14	8,69	-	8,69	6,49	4,82
R22	-3,09	-2,61	$6,9 \cdot 10^{-3}$	-	$9,8 \cdot 10^{-3}$	0,11	0,21
R23	$-3,1 \cdot 10^{-4}$	$-1,2 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$	-	$7,1 \cdot 10^{-4}$	$6,6 \cdot 10^{-2}$	0,12
R24	$-3,1 \cdot 10^{-3}$	$-1,2 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-2}$	-	$2,1 \cdot 10^{-2}$	$8,1 \cdot 10^{-2}$	0,14
<b>VERSCHLUSSVARIANTE 2:</b>							
R20	-2,83	1,58	5,40	-	5,38	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$
R21	$-3,1 \cdot 10^{-2}$	-0,10	0,29	-	0,27	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$4,2 \cdot 10^{-6}$
R25	$-3,1 \cdot 10^{-4}$	$-1,2 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-3}$	-	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^{-6}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$
<b>VERSCHLUSSVARIANTE 3:</b>							
R26	-3,10	-2,59	$3,4 \cdot 10^{-2}$	-	$5,4 \cdot 10^{-3}$	$3,7 \cdot 10^{-5}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$
R27	-3,09	-2,53	0,10	-	$6,8 \cdot 10^{-2}$	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$
R28	$-3,1 \cdot 10^{-2}$	-0,11	$9,8 \cdot 10^{-2}$	-	$6,4 \cdot 10^{-2}$	$6,9 \cdot 10^{-4}$	$4,1 \cdot 10^{-4}$
<b>VERSCHLUSSVARIANTE 4:</b>							
R33	-4,34	-2,81	$6,5 \cdot 10^{-3}$	-	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$-9,6 \cdot 10^{-4}$	0,00
R35	-4,34	-2,81	$6,5 \cdot 10^{-3}$	-	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$6,2 \cdot 10^{-2}$	0,12
R38	-4,34	-2,77	$4,8 \cdot 10^{-2}$	-	$3,1 \cdot 10^{-2}$	$8,8 \cdot 10^{-2}$	0,14
R39	-4,31	-2,46	0,42	-	0,40	0,38	0,38

**Tabelle 4-3: Wasserflüsse (l/min) im Schacht K1 (in Schichtmitte)**  
 (positive Werte: Fluss aufwärts, negative Werte: Fluss abwärts)

	q	kro	alb	hl	kru	jo	ox
<b>VERSCHLUSSVARIANTE 1:</b>							
R18	1,75	26,68	36,17	1,73	-2,65	-2,45	-2,35
R22	-0,36	$-2,4 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	0,45	-4,55	-4,19	-4,02
R23	$-3,9 \cdot 10^{-5}$	$-1,1 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$7,9 \cdot 10^{-5}$	$-4,9 \cdot 10^{-3}$	$-1,2 \cdot 10^{-2}$	$-9,7 \cdot 10^{-3}$
R24	$-3,9 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	0,12	$8,1 \cdot 10^{-4}$	$-4,8 \cdot 10^{-2}$	$-5,2 \cdot 10^{-2}$	$-4,8 \cdot 10^{-2}$
<b>VERSCHLUSSVARIANTE 2:</b>							
R20	1,82	27,62	37,45	1,93	-0,16	$-3,3 \cdot 10^{-5}$	$-5,5 \cdot 10^{-6}$
R21	$-3,8 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-2}$	1,14	$8,1 \cdot 10^{-3}$	-0,40	$-7,6 \cdot 10^{-5}$	$-2,7 \cdot 10^{-5}$
R25	$-3,9 \cdot 10^{-5}$	$-1,1 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$8,0 \cdot 10^{-5}$	$-4,9 \cdot 10^{-3}$	$-2,5 \cdot 10^{-6}$	$-3,0 \cdot 10^{-7}$
<b>VERSCHLUSSVARIANTE 3:</b>							
R26	1,83	27,77	37,64	1,95	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$9,9 \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{-6}$
R27	1,83	27,78	37,66	1,94	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$8,2 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$
R28	$-3,8 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-2}$	1,15	$8,4 \cdot 10^{-3}$	$-6,6 \cdot 10^{-2}$	$-1,3 \cdot 10^{-3}$	$-4,4 \cdot 10^{-4}$
<b>VERSCHLUSSVARIANTE 4:</b>							
R33	-0,50	$-2,2 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$-6,1 \cdot 10^{-3}$	0,00	0,00
R35	-0,50	$-2,2 \cdot 10^{-2}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$-6,0 \cdot 10^{-3}$	$-1,3 \cdot 10^{-2}$	$-1,0 \cdot 10^{-2}$
R38	-0,48	-0,10	0,17	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$-6,0 \cdot 10^{-2}$	$-6,3 \cdot 10^{-2}$	$-5,9 \cdot 10^{-2}$
R39	-0,35	1,29	1,65	$1,2 \cdot 10^{-2}$	-0,52	-0,50	-0,48

**Tabelle 4-4: Wasserflüsse (l/min) im Schacht K2 (in Schichtmitte)**  
 (positive Werte: Fluss aufwärts, negative Werte: Fluss abwärts)

		Q	B	K1	K2	L	U	O	total
VERSCHLUSSVARIANTE 1:									
R18	TOP	0	8	65	0	0	14	32	119
	MID	0	2	57	0	0	52	13	124
	BOT	0	0	18	0	0	106	3	127
R22	TOP	5	10	0	0	33	45	26	119
	MID	9	5	0	0	37	57	16	124
	BOT	2	2	0	0	15	94	14	127
R23	TOP	14	40	0	0	35	20	10	119
	MID	14	18	0	0	37	46	9	124
	BOT	3	0	0	0	17	100	7	127
R24	TOP	12	16	0	0	52	37	2	119
	MID	15	3	0	0	44	60	2	124
	BOT	4	0	0	0	30	90	3	127
VERSCHLUSSVARIANTE 2:									
R20	TOP	0	0	43	0	1	30	45	119
	MID	0	0	35	0	0	62	27	124
	BOT	0	0	7	0	0	98	22	127
R21	TOP	11	5	5	0	71	22	5	119
	MID	12	3	1	0	73	33	2	124
	BOT	6	2	0	0	46	70	3	127
R25	TOP	14	42	0	0	31	5	27	119
	MID	14	14	0	0	19	56	21	124
	BOT	1	4	0	0	9	104	9	127

Q : Austritt im Quartär      L : Austritt seitlich  
 B : Verlauf in Bohrungen    U : Austritt nach unten (=Dogger)  
 K1: Verlauf in Schacht K1    O : Abbruch (Oszillation)  
 K2: Verlauf in Schacht K2

Tabelle 4-5: Statistik des Trajektorienverlaufes

		Q	B	K1	K2	L	U	O	total
VERSCHLUSSVARIANTE 3:									
R26	TOP	8	22	2	0	42	35	10	119
	MID	11	13	0	0	25	65	10	124
	BOT	2	4	0	0	9	105	7	127
R27	TOP	7	12	6	7	19	34	34	119
	MID	14	13	1	3	18	49	26	124
	BOT	3	1	0	1	10	95	17	127
R28	TOP	14	10	12	0	28	41	14	119
	MID	11	5	2	0	22	72	12	124
	BOT	2	0	0	0	10	107	8	127
VERSCHLUSSVARIANTE 4:									
R33	TOP	13	0	0	0	32	8	66	119
	MID	12	0	0	0	36	20	56	124
	BOT	12	0	0	0	29	37	49	127
R35	TOP	29	0	0	0	67	17	6	119
	MID	13	0	0	0	44	54	13	124
	BOT	1	0	0	0	13	99	14	127
R38	TOP	28	0	4	0	72	10	5	119
	MID	12	0	2	0	44	51	15	124
	BOT	1	0	0	0	11	101	14	127
R39	TOP	16	0	9	0	60	23	11	119
	MID	9	0	3	0	50	52	10	124
	BOT	2	0	0	0	13	94	18	127

Q : Austritt im Quartär      L : Austritt seitlich  
 B : Verlauf in Bohrungen    U : Austritt nach unten (=Dogger)  
 K1: Verlauf in Schacht K1    O : Abbruch (Oszillation)  
 K2: Verlauf in Schacht K2

Tabelle 4-5 (Forts.): Statistik des Trajektorienverlaufes

## ABBILDUNGEN

- 2-1 Auslegung des Schachtverschlusses der Verschlussvarianten 1 und 2 (aus [3])
- 2-2 Auslegung des Schachtverschlusses der Verschlussvarianten 3 und 4 (aus [4])
- 3-1 Ansicht des NE-Bereiches der Grube mit darüber liegender Geologie und Lage der Schächte K1 und K2
- 4-1 Verschlussvariante 1 (R16, R18, R22 bis R24):  
Potentiale und Wasserflüsse im Schacht K1
- 4-2 Verschlussvariante 1 (R16, R18, R22 bis R24):  
Potentiale und Wasserflüsse im Schacht K2
- 4-3 Verschlussvariante 2 (R16, R20, R21, R25):  
Potentiale und Wasserflüsse im Schacht K1
- 4-4 Verschlussvariante 2 (R16, R20, R21, R25):  
Potentiale und Wasserflüsse im Schacht K2
- 4-5 Verschlussvariante 3 (R16, R26 bis R28):  
Potentiale und Wasserflüsse im Schacht K1
- 4-6 Verschlussvariante 3 (R16, R26 bis R28):  
Potentiale und Wasserflüsse im Schacht K2
- 4-7 Verschlussvariante 4 (R30, R33, R34, R35, R38, R39):  
Potentiale und Wasserflüsse im Schacht K1
- 4-8 Verschlussvariante 4 (R30, R33, R34, R35, R38, R39):  
Potentiale und Wasserflüsse im Schacht K2
- 5-1 Schematische Darstellung des Fliesssystems durch das Grubengebäude und entlang der Schächte
- 5-2 Zusammenfassung und Vergleich der Modellresultate mit der mittleren hydraulischen Transmissivität des Schachtes K1 im Bereich des Alb und der Unterkreide

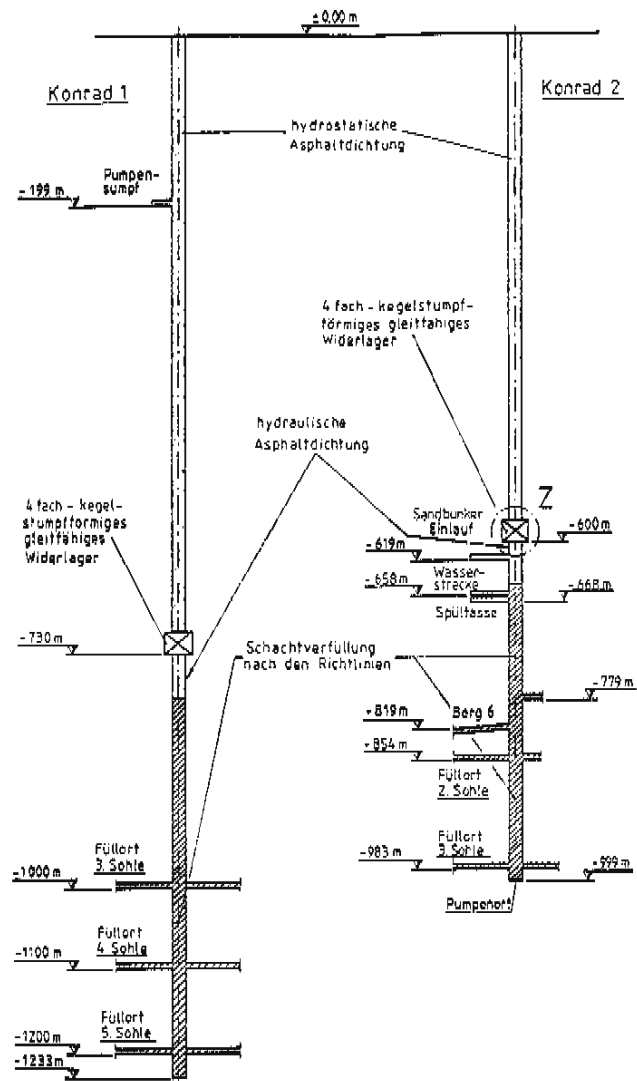


Abbildung 2-1: Auslegung des Schachtverschlusses der Verschlussvarianten 1 und 2 (aus [3])

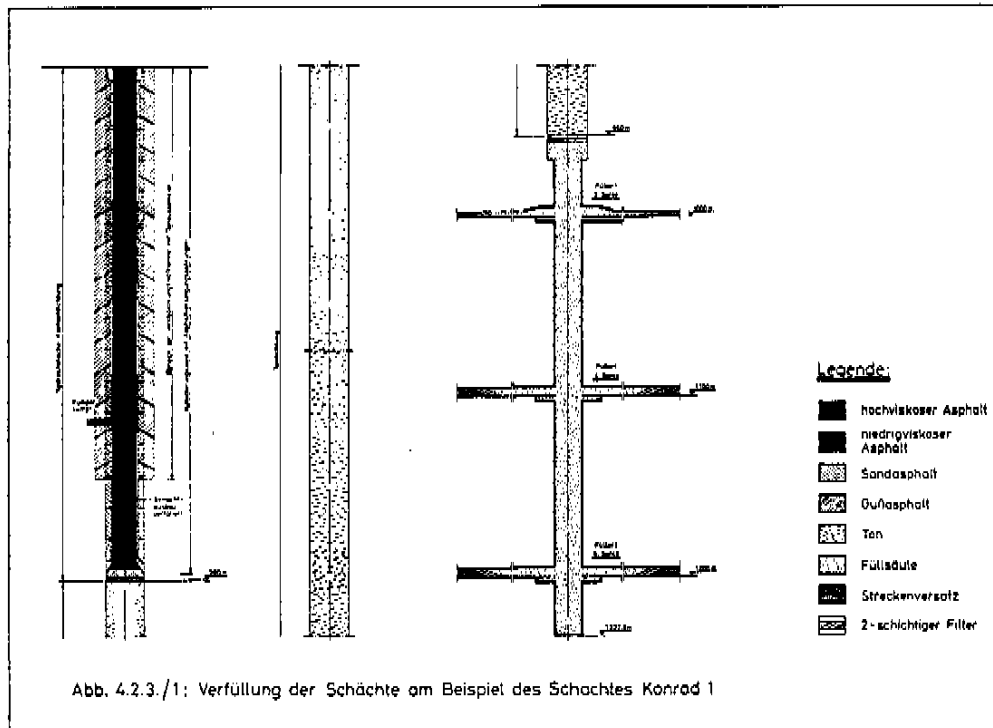


Abbildung 2-2: Auslegung des Schachtverschlusses der Verschlussvarianten 3 und 4 (aus [4])

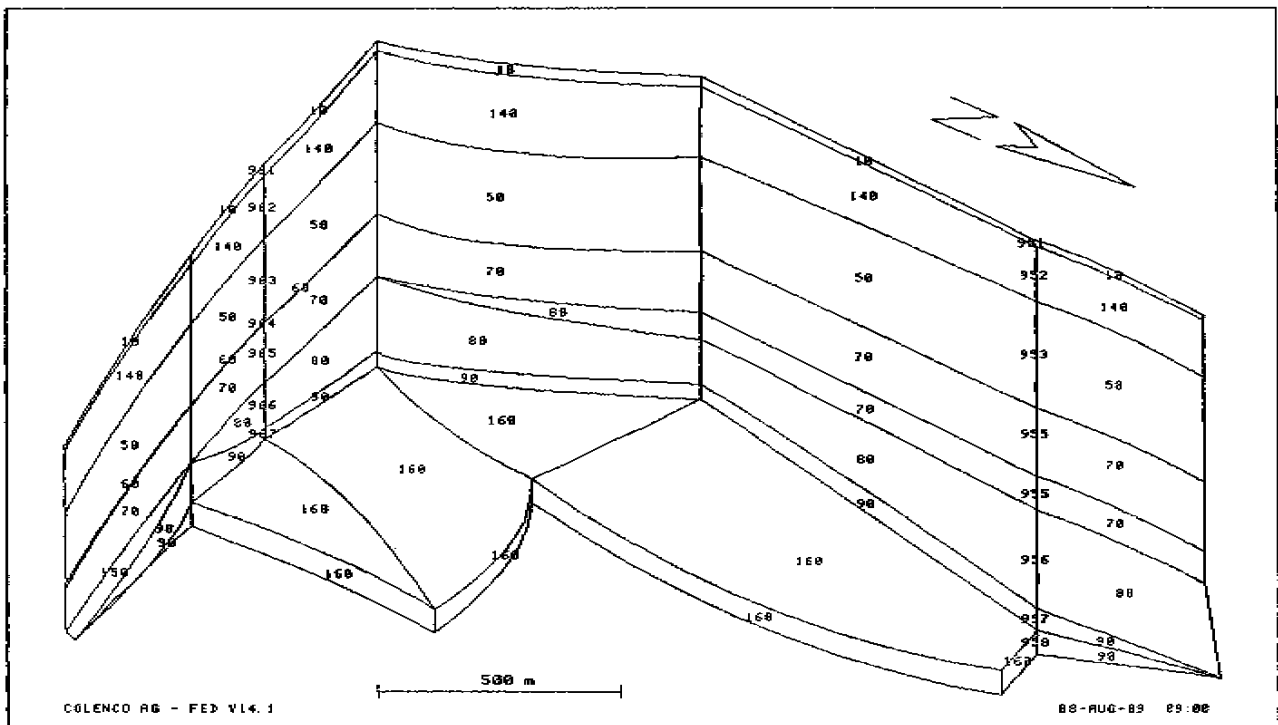


Abbildung 3-1: Ansicht des NE-Bereiches der Grube mit darüberliegender Geologie und Lage der Schächte K1 und K2 (Zahlenwerte kennzeichnen die Durchlässigkeitsklassen, siehe Tab. 3-1)



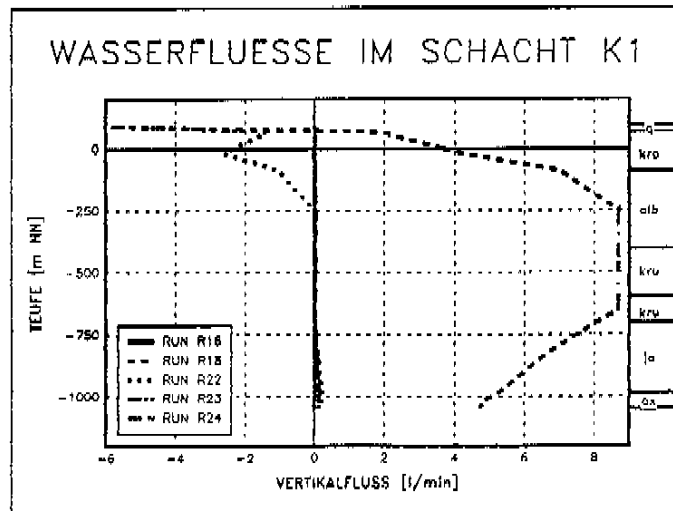
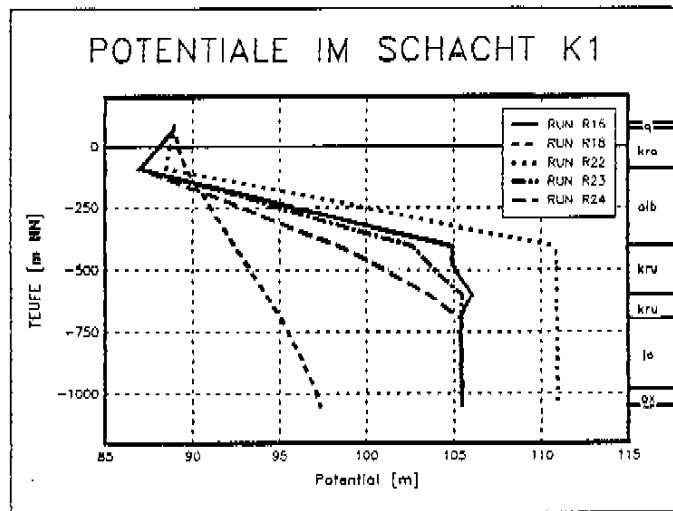


Abbildung 4-1: Verschlussvariante 1 (R16, R18, R22 bis R24):  
Potentiale und Wasserflüsse im Schacht K1

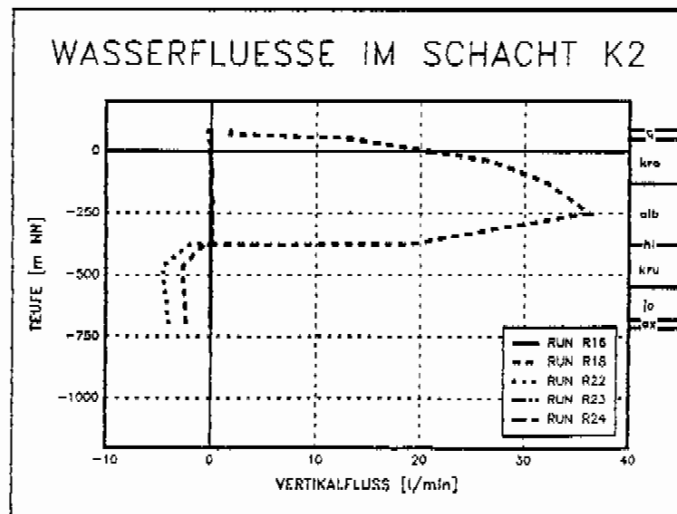
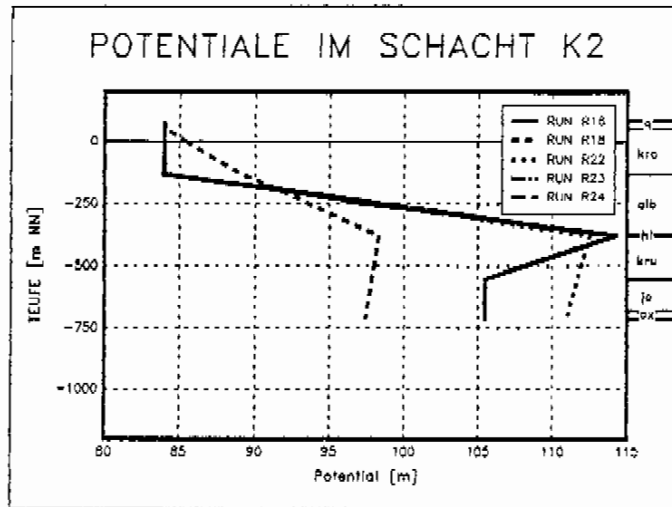


Abbildung 4-2: Verschlussvariante 1 (R16, R18, R22 bis R24):  
Potentiale und Wasserflüsse im Schacht K2

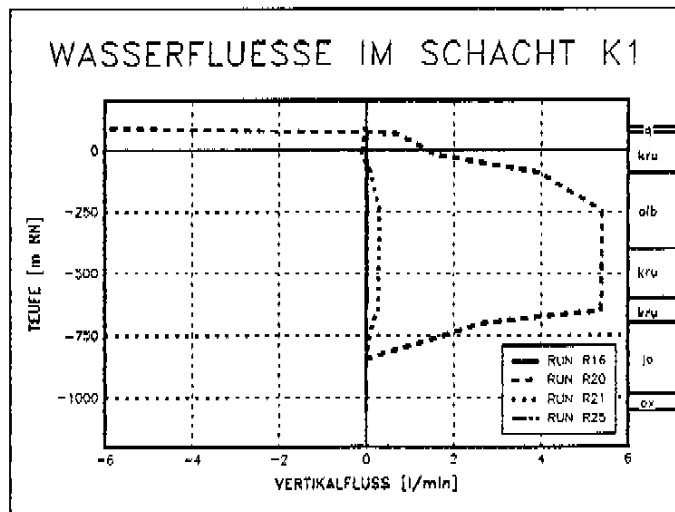
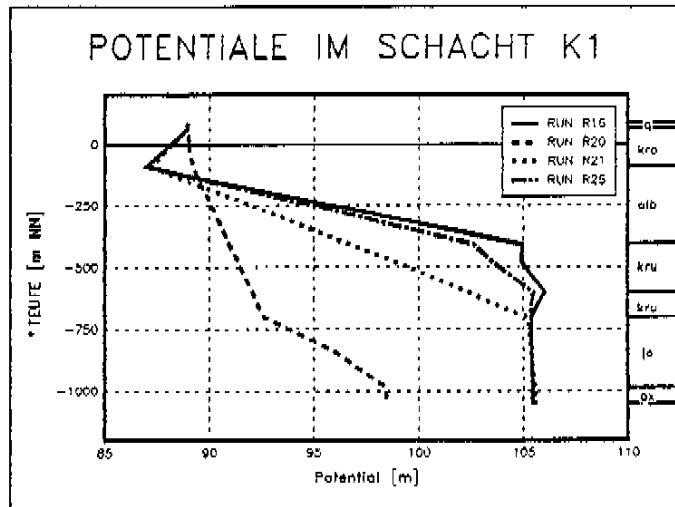


Abbildung 4-3: Verschlussvariante 2 (R16, R20, R21, R25):  
Potentiale und Wasserflüsse im Schacht K1

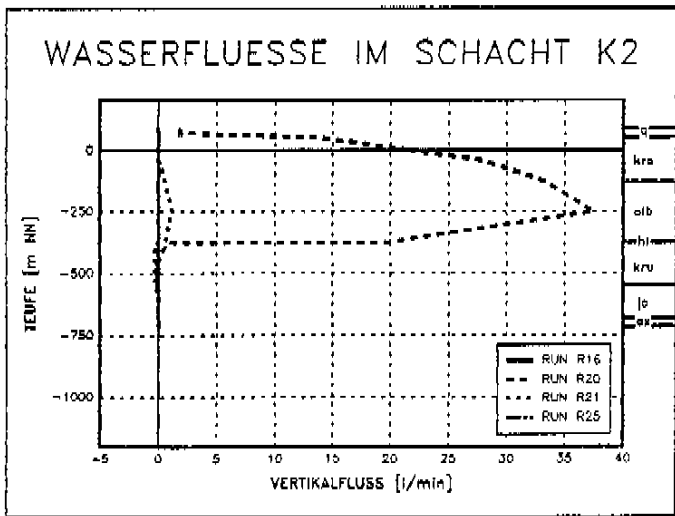
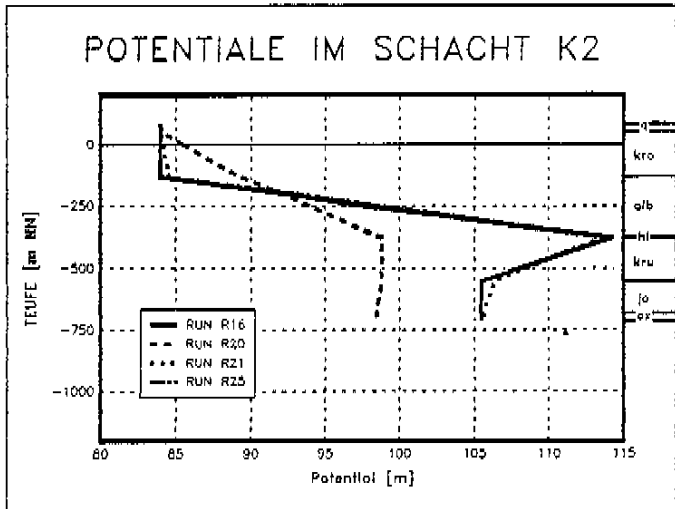


Abbildung 4-4: Verschlussvariante 2 (R16, R20, R21, R25):  
Potentiale und Wasserflüsse im Schacht K2

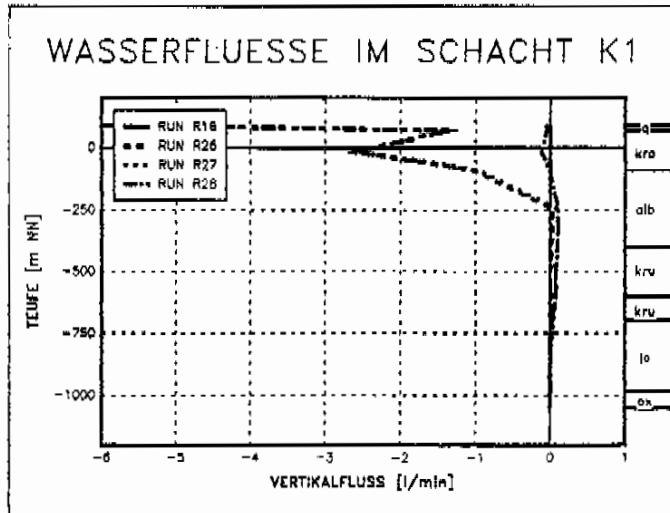
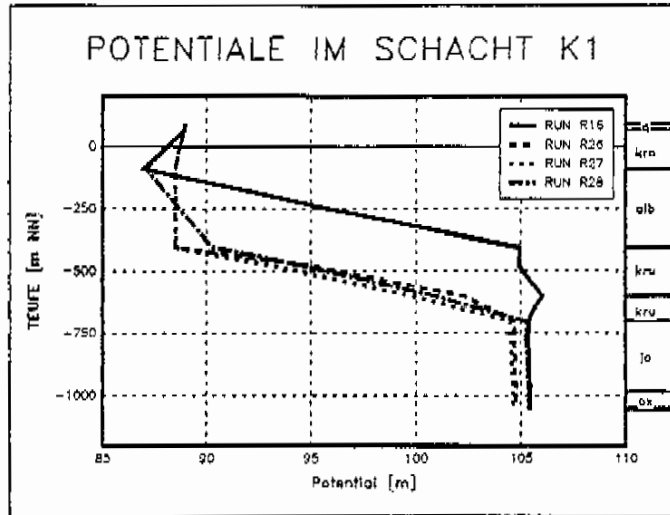


Abbildung 4-5: Verschlussvariante 3 (R16, R26 bis R28):  
Potentiale und Wasserflüsse im Schacht K1

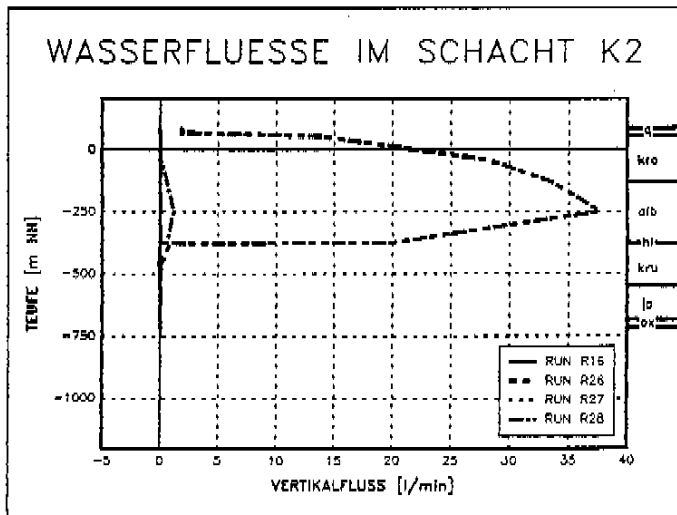
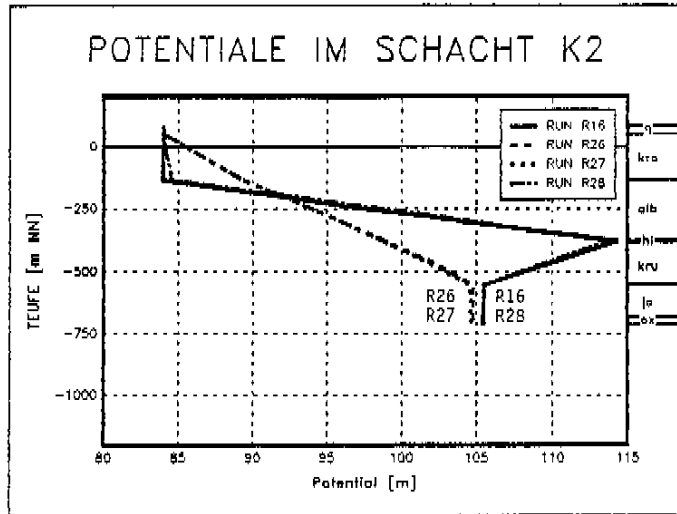


Abbildung 4-6: Verschlussvariante 3 (R16, R26 bis R28):  
Potentiale und Wasserflüsse im Schacht K2

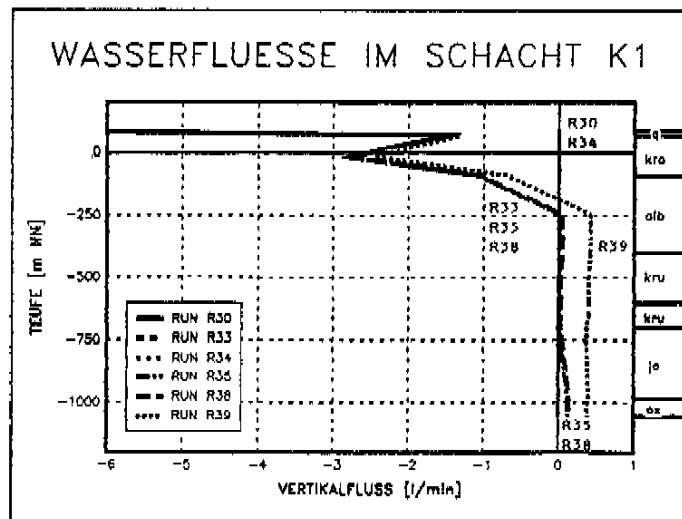
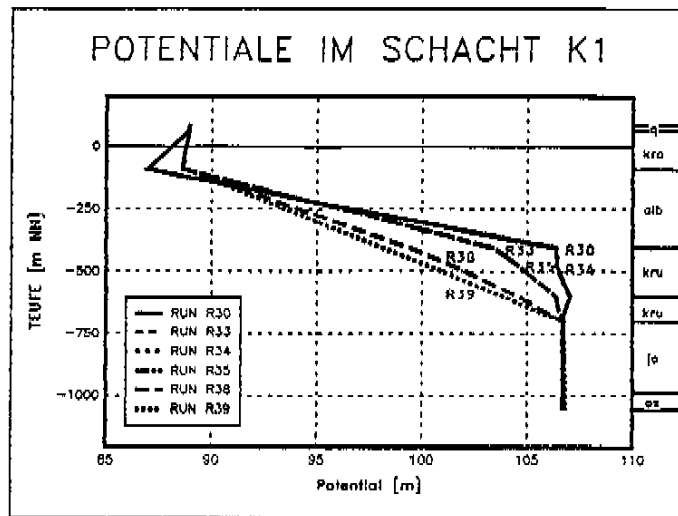


Abbildung 4-7: Verschlussvariante 4 (R30, R33, R34, R35, R38, R39):  
Potentiale und Wasserflüsse im Schacht K1

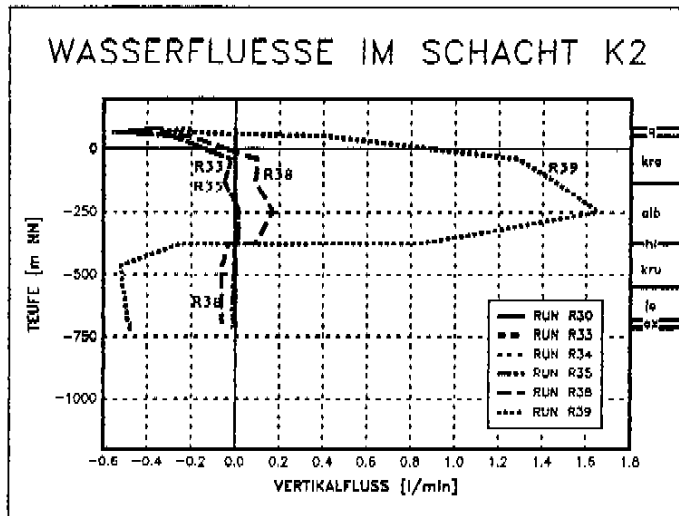
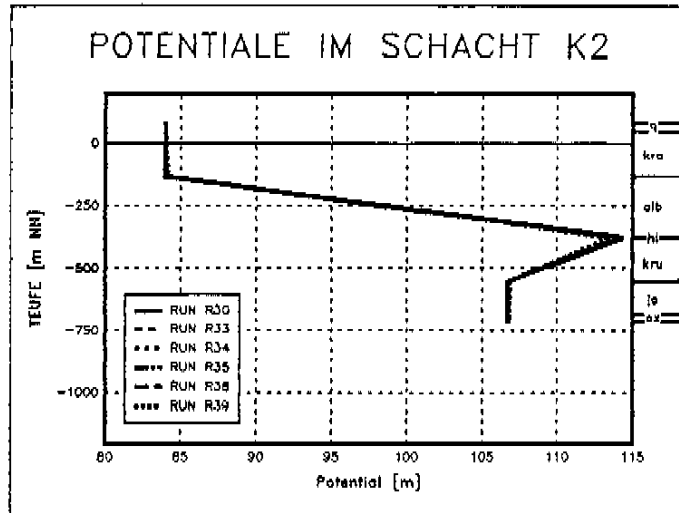


Abbildung 4-8: Verschlussvariante 4 (R30, R33, R34, R35, R38, R39):  
Potentiale und Wasserflüsse im Schacht K2



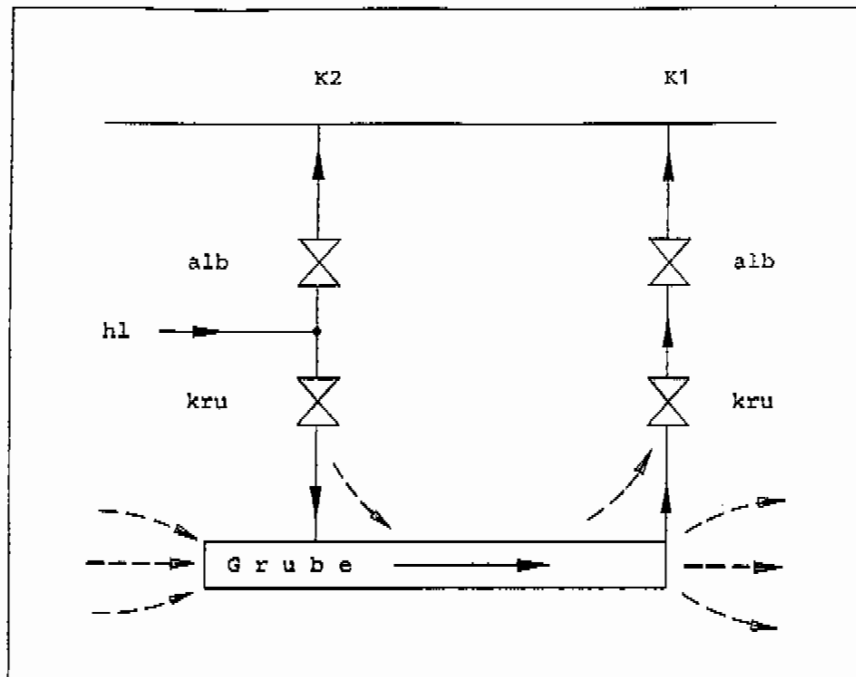
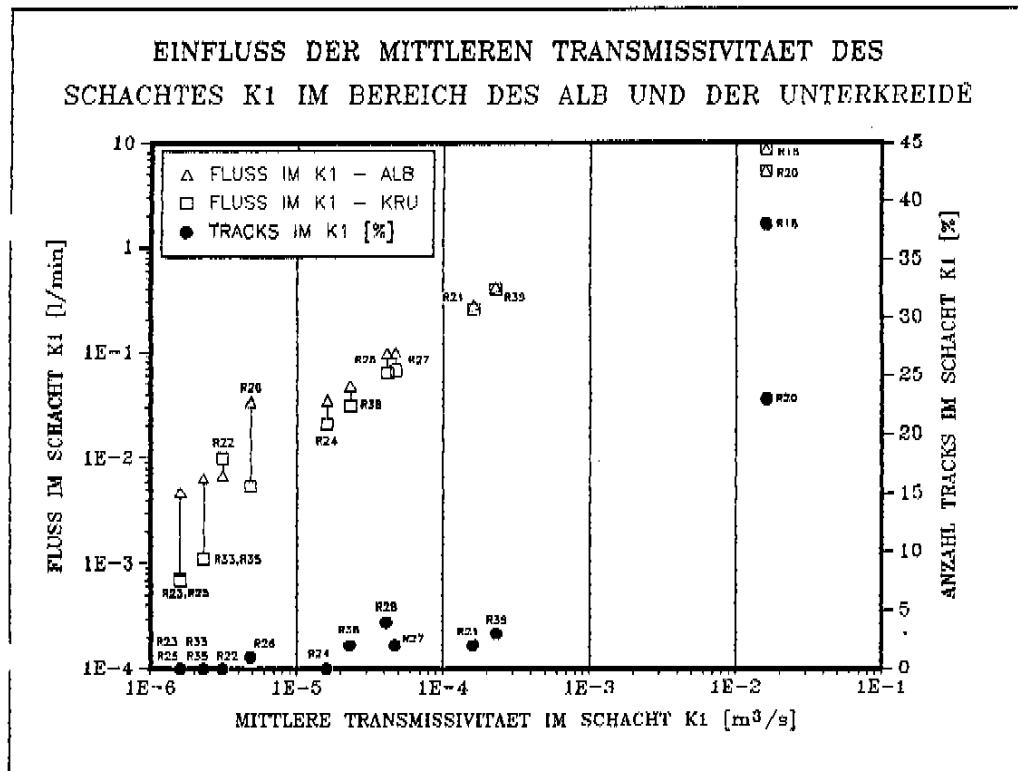


Abbildung 5-1: Schematische Darstellung des Fließsystems durch das Grubengebäude und entlang der Schächte



**Abbildung 5-2:** Zusammenfassung und Vergleich der Modellresultate mit der mittleren hydraulischen Transmissivität des Schachtes Konrad 1 im Bereich des Alb und der Unterkreide

## ANHANG: FARBIGE ABBILDUNGEN

Elementnetz

A-1 Ansicht des NE-Bereiches der Grube  
und der Schächte Konrad 1 und Konrad 2

Potentiale

B-1 Potentialverteilung im Rechenfall R16  
B-2 Potentialverteilung im Rechenfall R18  
B-3 Potentialverteilung im Rechenfall R20  
B-4 Potentialverteilung im Rechenfall R21  
B-5 Potentialverteilung im Rechenfall R22  
B-6 Potentialverteilung im Rechenfall R23  
B-7 Potentialverteilung im Rechenfall R24  
B-8 Potentialverteilung im Rechenfall R25  
B-9 Potentialverteilung im Rechenfall R26  
B-10 Potentialverteilung im Rechenfall R27  
B-11 Potentialverteilung im Rechenfall R28  
B-12 Potentialverteilung im Rechenfall R33  
B-13 Potentialverteilung im Rechenfall R34  
B-14 Potentialverteilung im Rechenfall R35  
B-15 Potentialverteilung im Rechenfall R38  
B-16 Potentialverteilung im Rechenfall R39

Trajektorien

C-1 Trajektorien im Rechenfall R16  
C-2 Trajektorien im Rechenfall R18  
C-3 Trajektorien im Rechenfall R20  
C-4 Trajektorien im Rechenfall R21  
C-5 Trajektorien im Rechenfall R22  
C-6 Trajektorien im Rechenfall R23  
C-7 Trajektorien im Rechenfall R24  
C-8 Trajektorien im Rechenfall R25  
C-9 Trajektorien im Rechenfall R26  
C-10 Trajektorien im Rechenfall R27  
C-11 Trajektorien im Rechenfall R28  
C-12 Trajektorien im Rechenfall R33  
C-13 Trajektorien im Rechenfall R34  
C-14 Trajektorien im Rechenfall R35  
C-15 Trajektorien im Rechenfall R38  
C-16 Trajektorien im Rechenfall R39

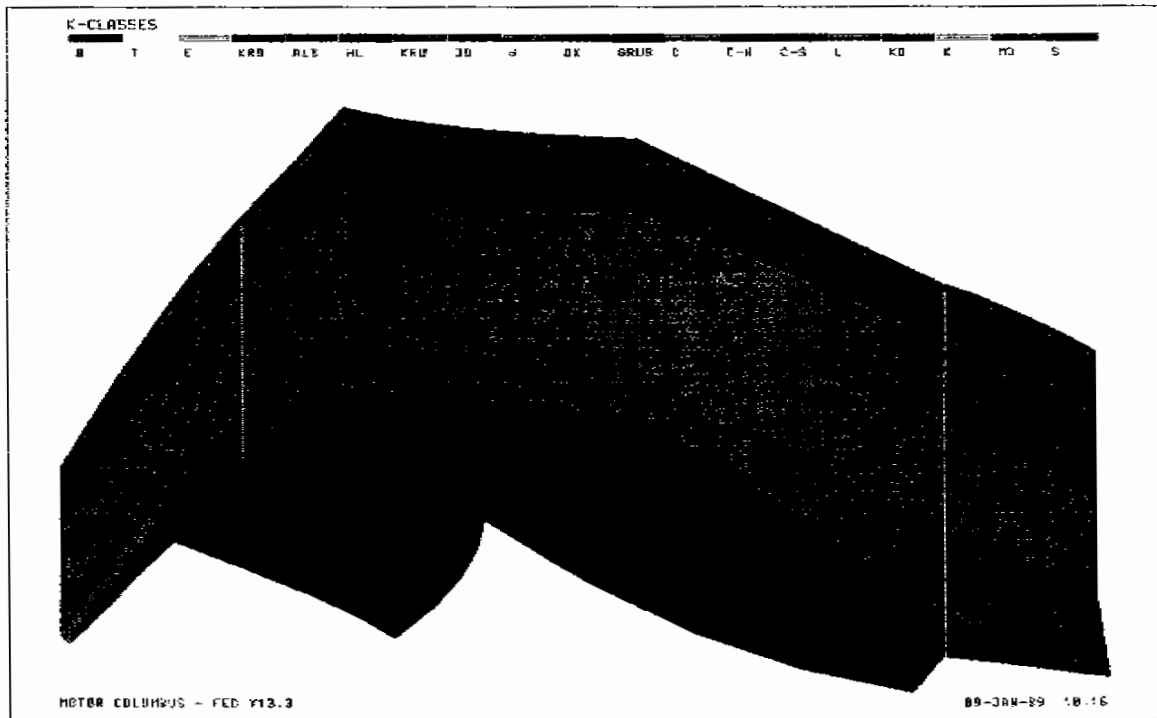


Abbildung A-1 Ansicht des NE-Bereiches der Grube und der Schächte Konrad 1 und Konrad 2

BZ\_R16.XYZ SCHICHT.EL PTB\_R16.RES 60/45

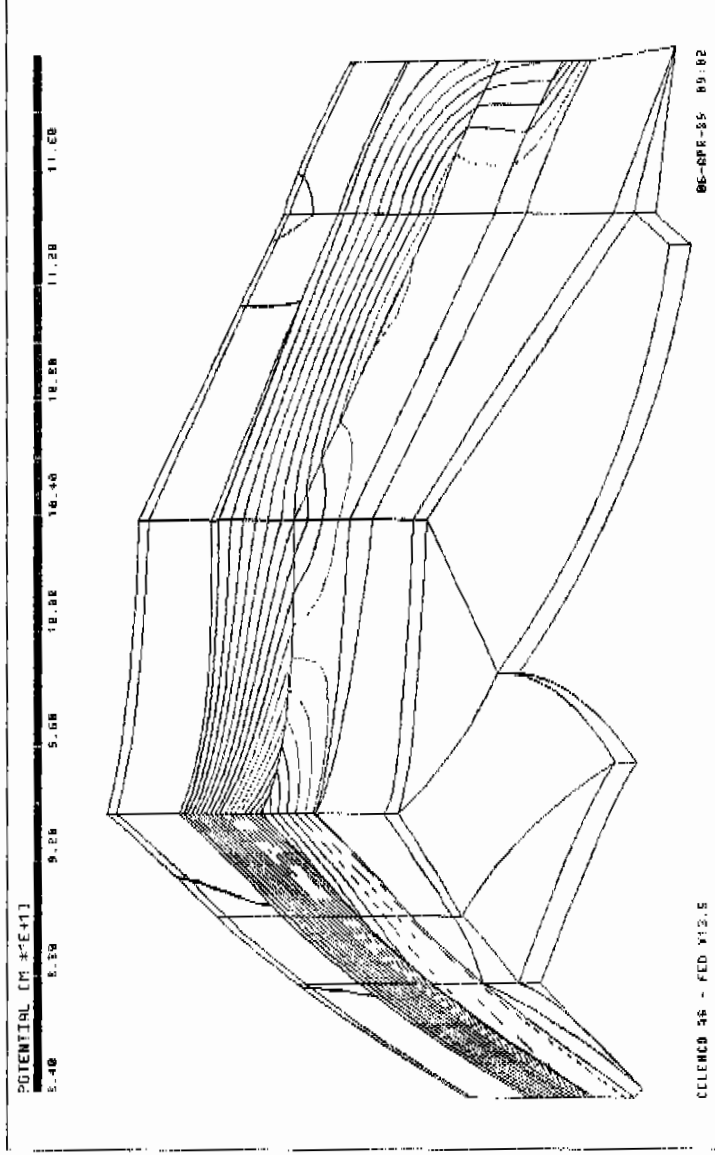


Abbildung B-1 Potentialverteilung im Rechenfall R16

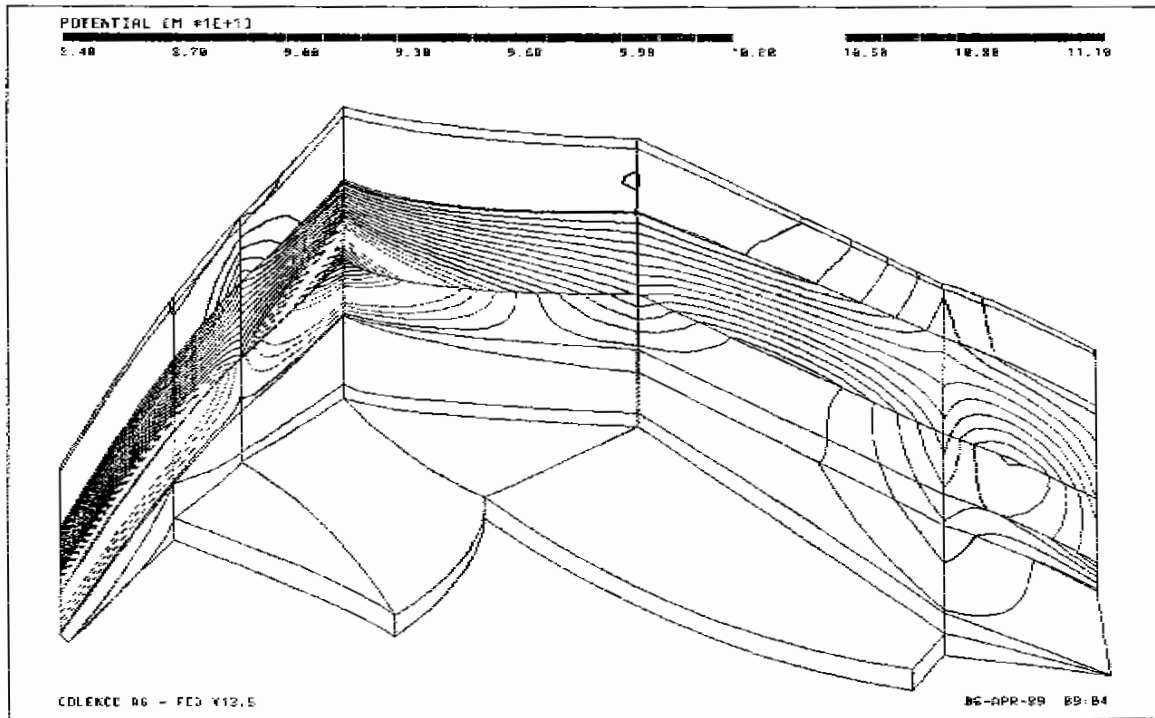


Abbildung B-2 Potentialverteilung im Rechenfall R18

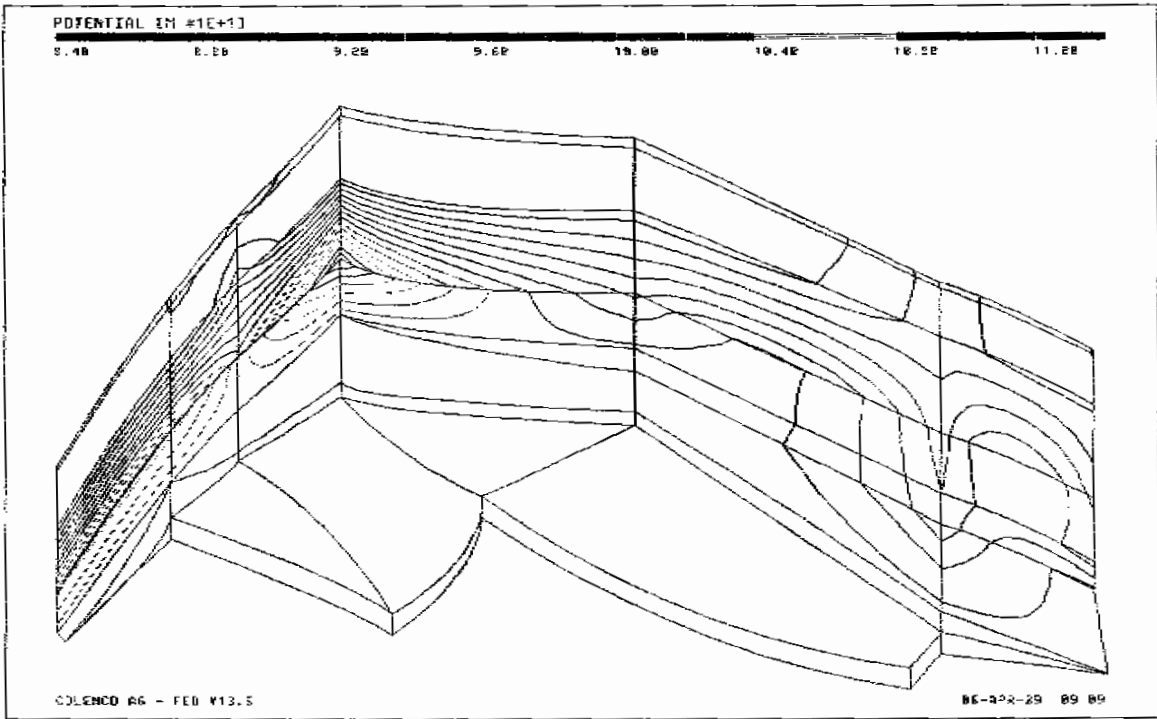


Abbildung B-3 Potentialverteilung im Rechenfall R20

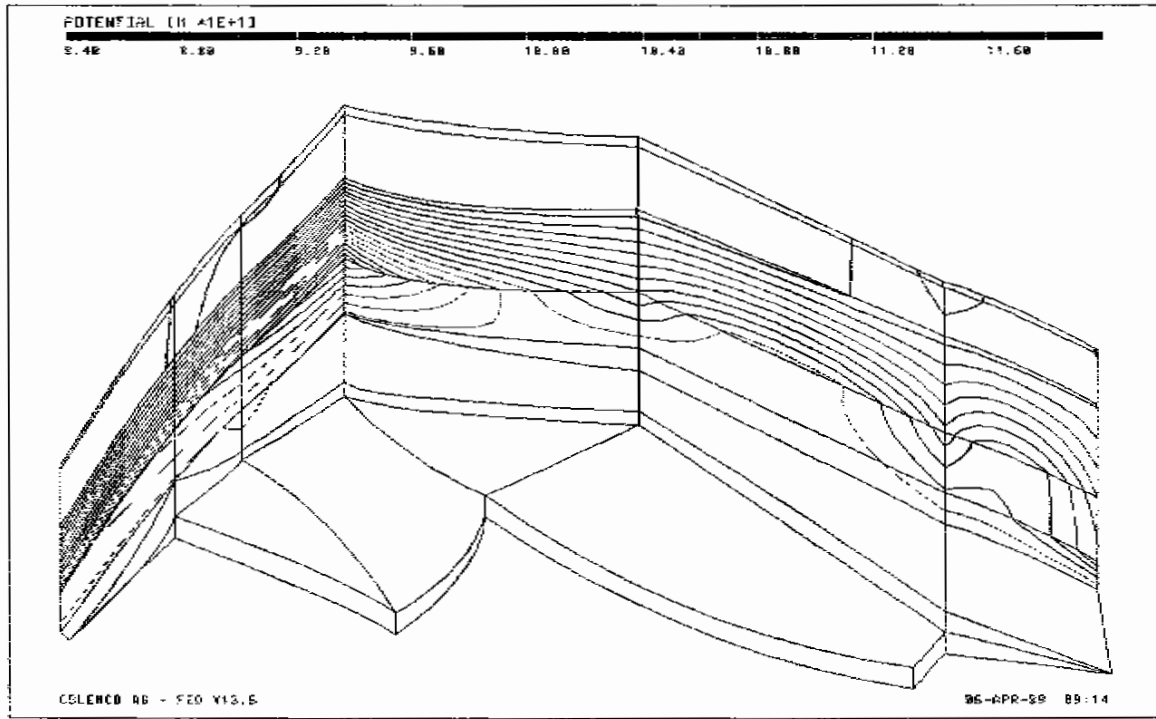


Abbildung B-4 Potentialverteilung im Rechenfall R21



BZ\_R16.XYZ SCHICHT\_EL\_PIB\_R22.RES 60/45

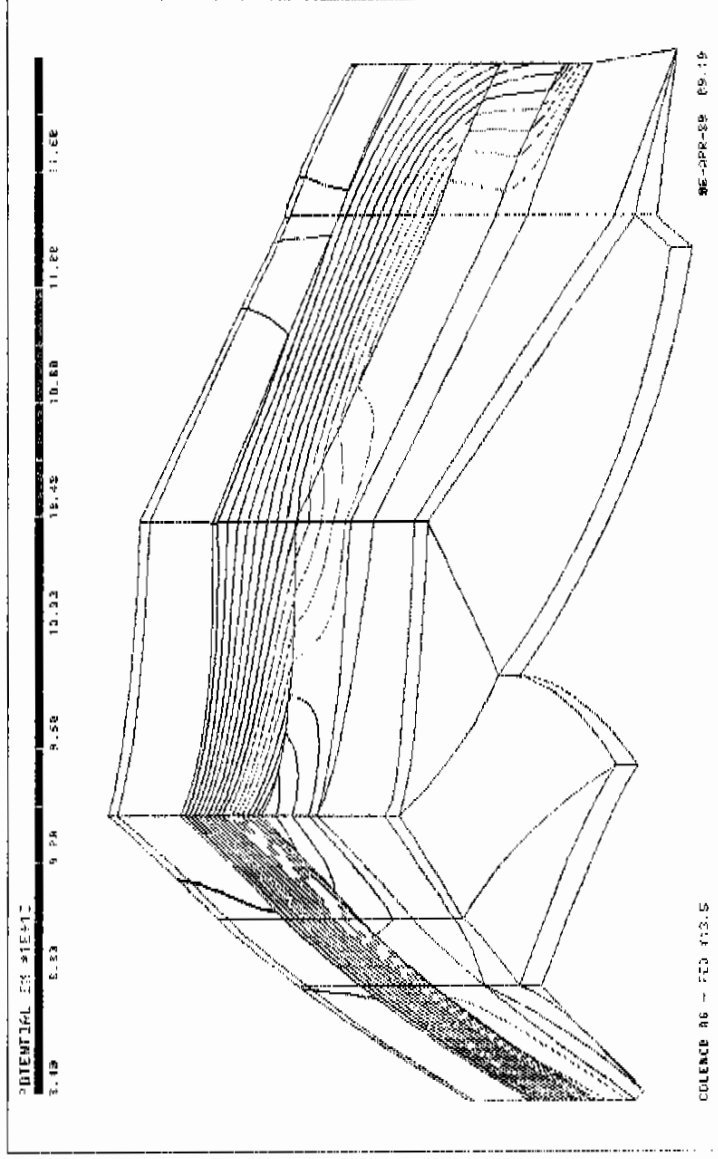


Abbildung B-5 Potentialverteilung im Rechenfall R22

BZ\_R.G.XYZ SCHACHT.EL PIB\_R23.REG 50/45

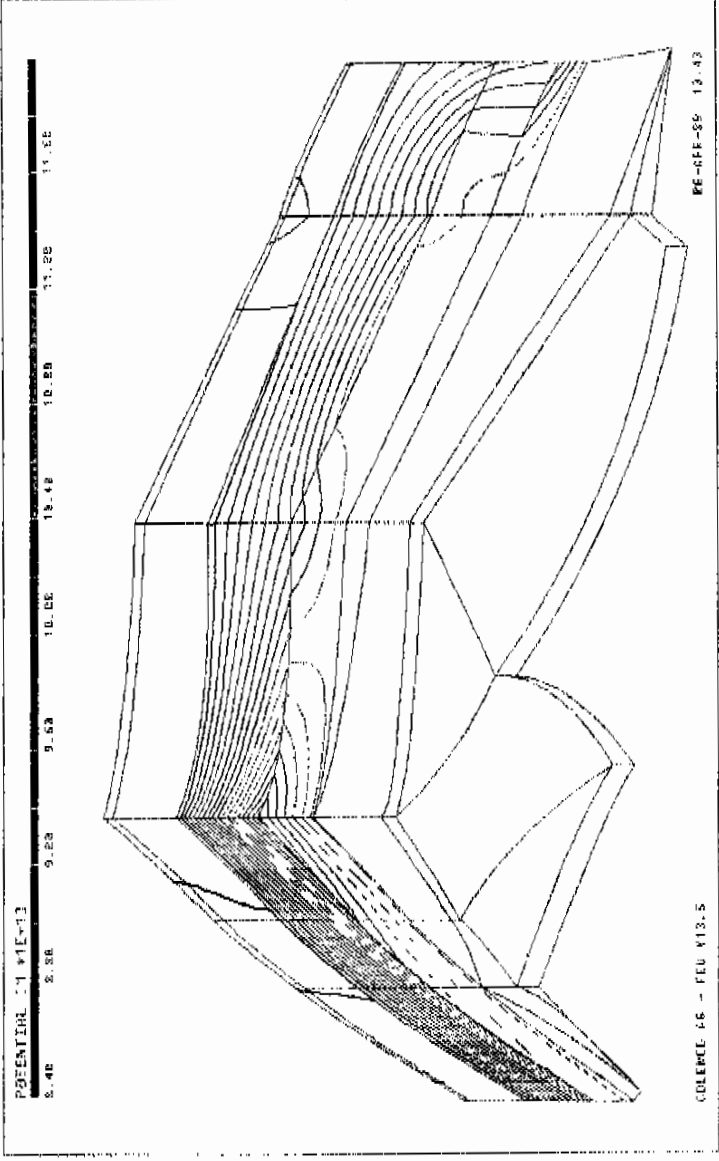


Abbildung B-6 Potentialverteilung im Rechenfall R23

BZ\_R16\_XYZ SCHICHT.EL PTB\_R24\_RES 60/45

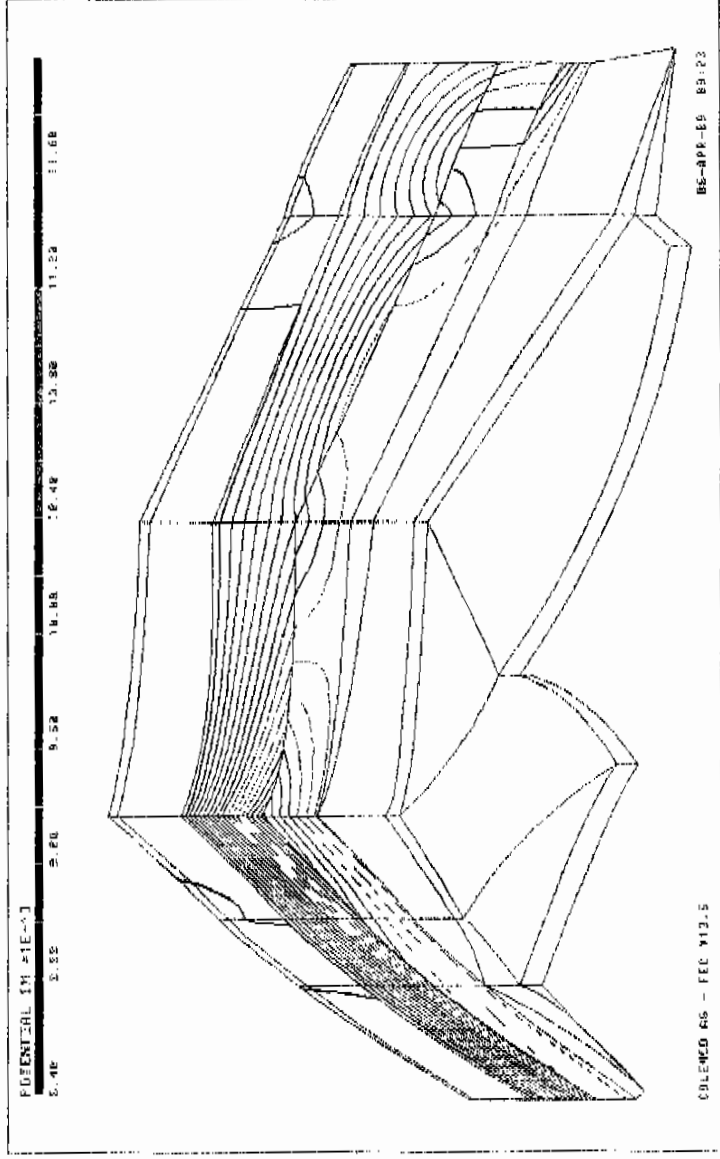


Abbildung B-7 Potentialverteilung im Rechenfall R24

BZ\_P16.XYZ SCHICHT.FL\_PTB\_R25.RES 60/45

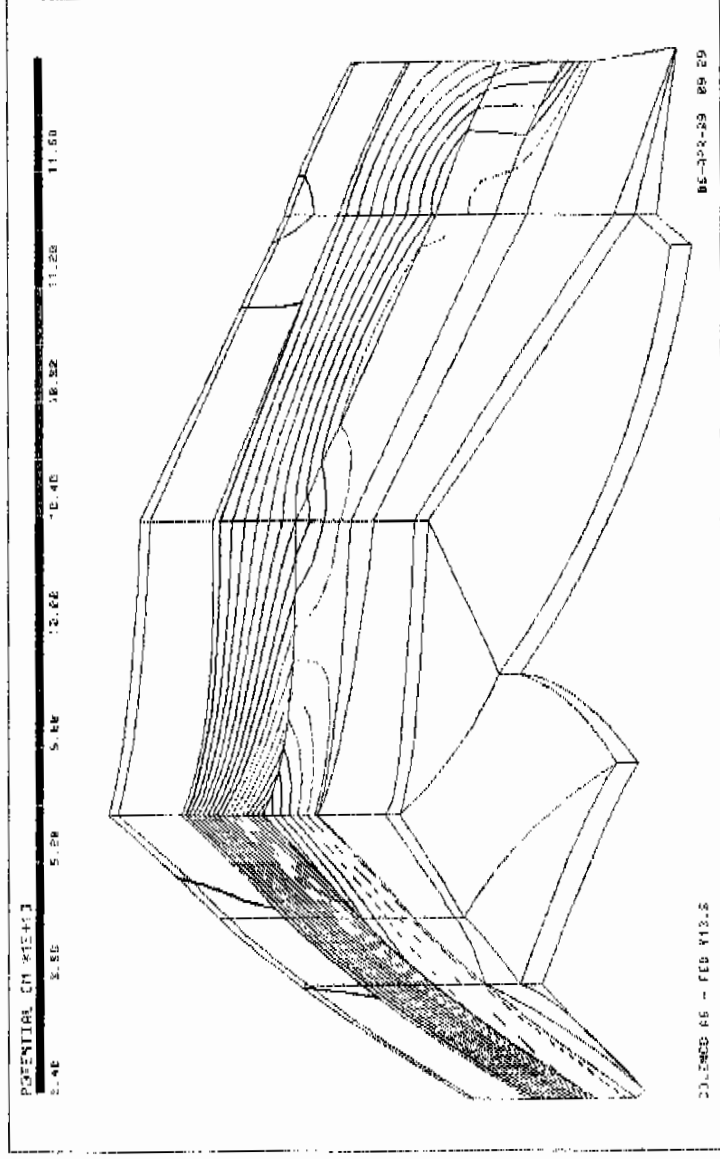


Abbildung B-8 Potentialverteilung im Rechenfall R25

BZ\_K16.XYZ SCHREIBTEL PTB\_RES.RES 60/45

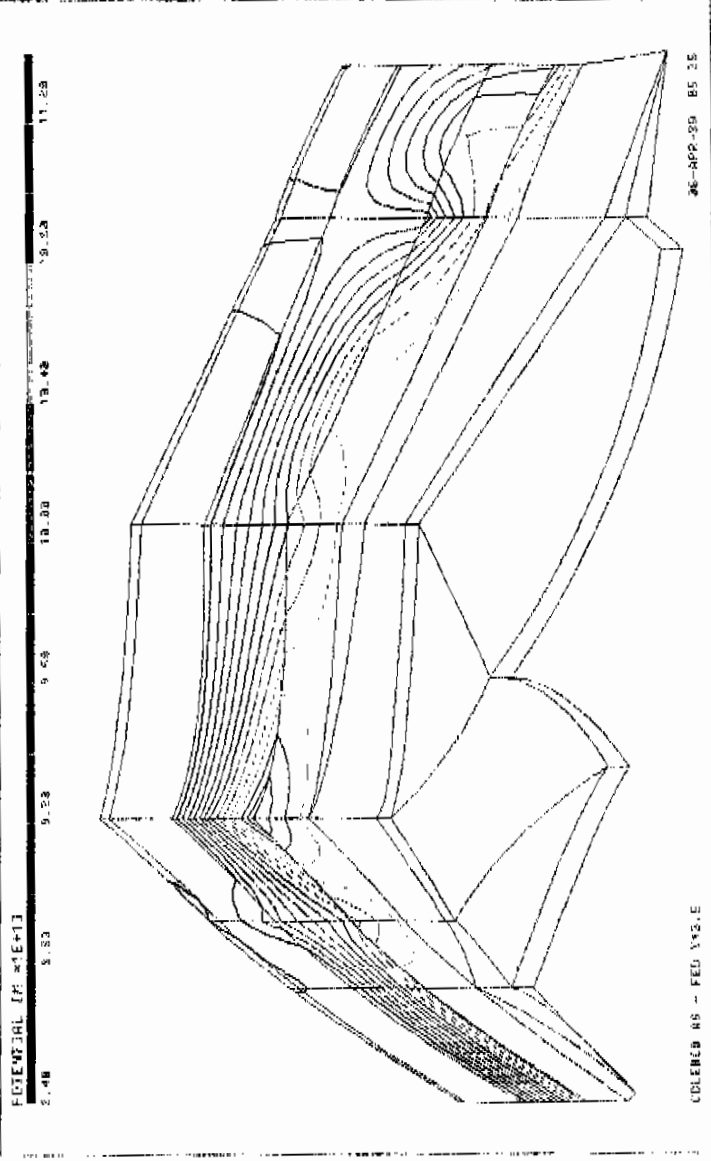


Abbildung B-9 Potentialverteilung im Rechenfall R26

BZ\_P\_5.XYZ SCHWARTZ EL PT8\_R27.RES 60/45

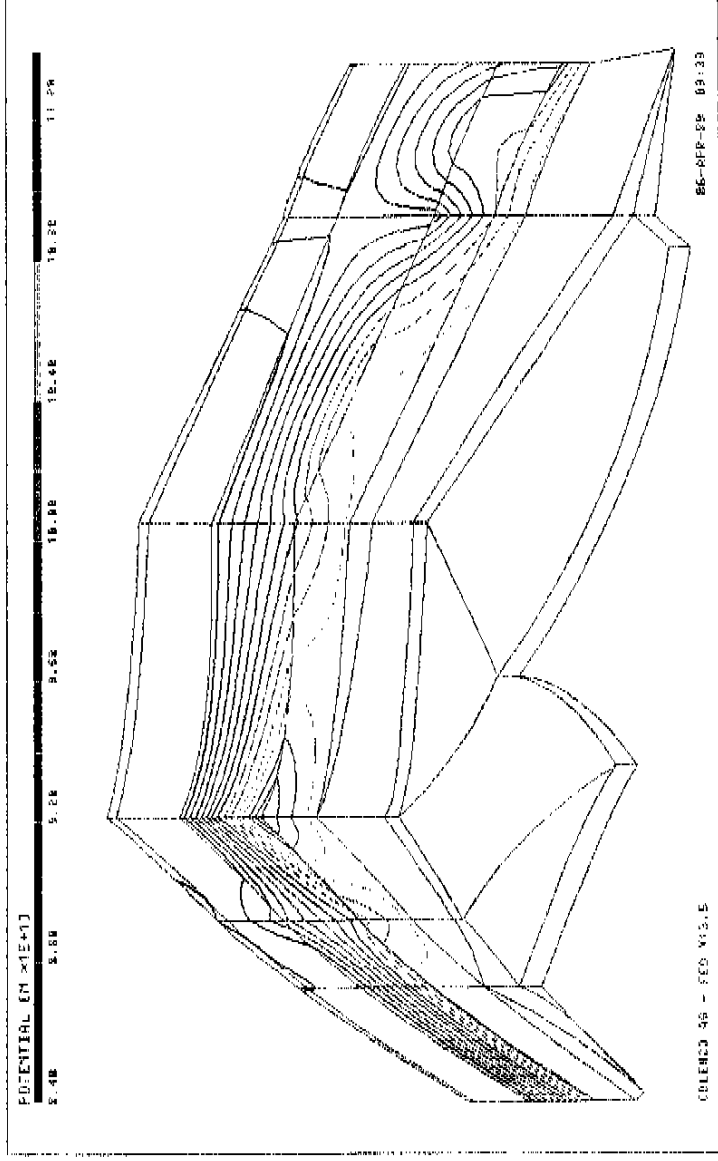


Abbildung B-10 Potentialverteilung im Rechenfall R27

BZ\_R16.XYZ SCHACHT.EL PIT\_REB.RES 60/45

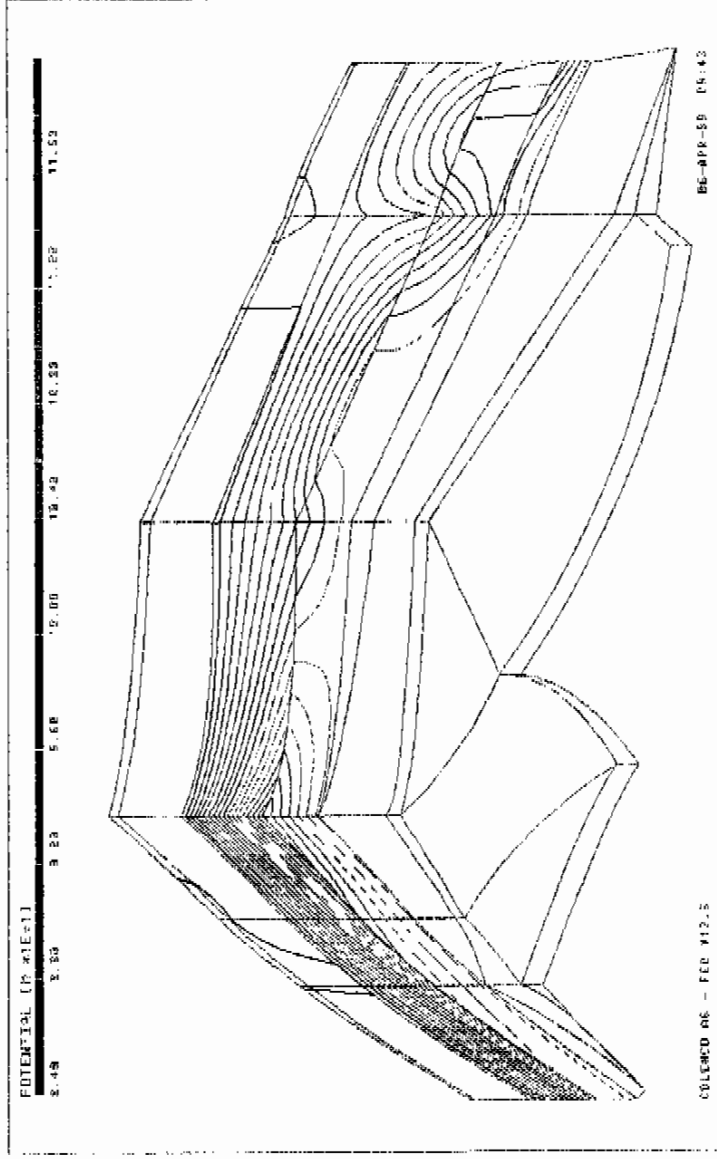


Abbildung B-11 Potentialverteilung im Rechenfall R28

3Z\_RCE\_XYZ SCHACHT.EL P13\_R03.RES 58/45

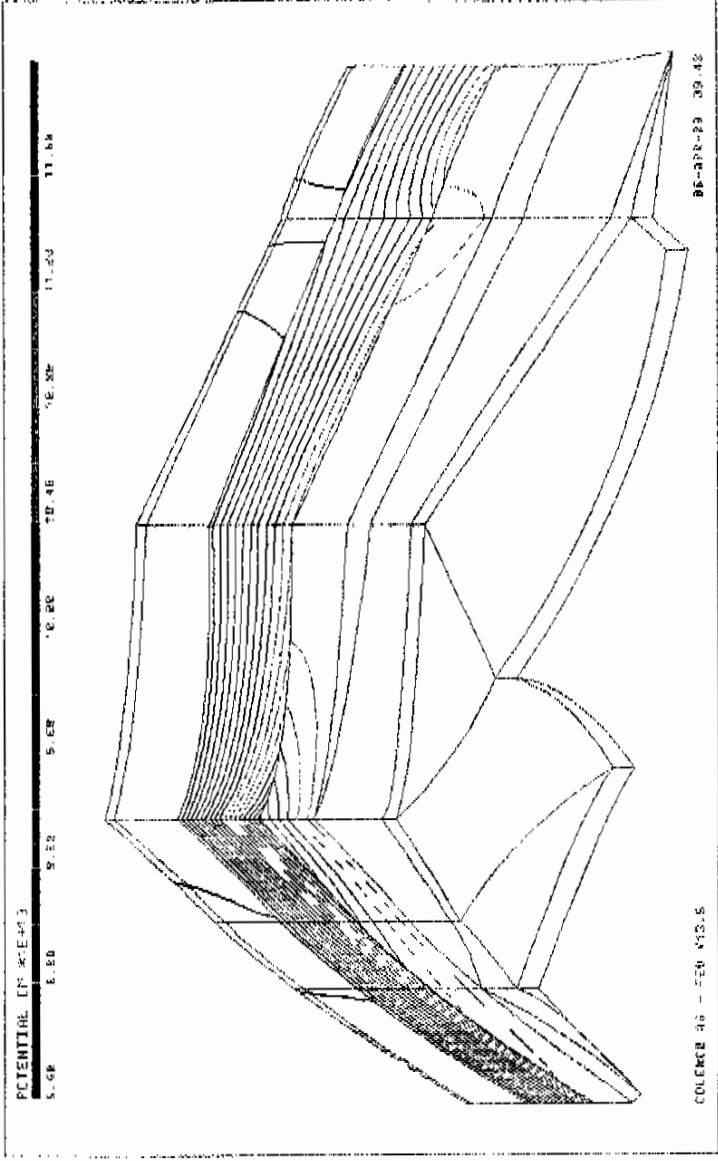


Abbildung B-12 Potentialverteilung im Rechenfall R33



BZ\_R16.XYZ SCHACHT.EL P1B\_R34.RES 60/45

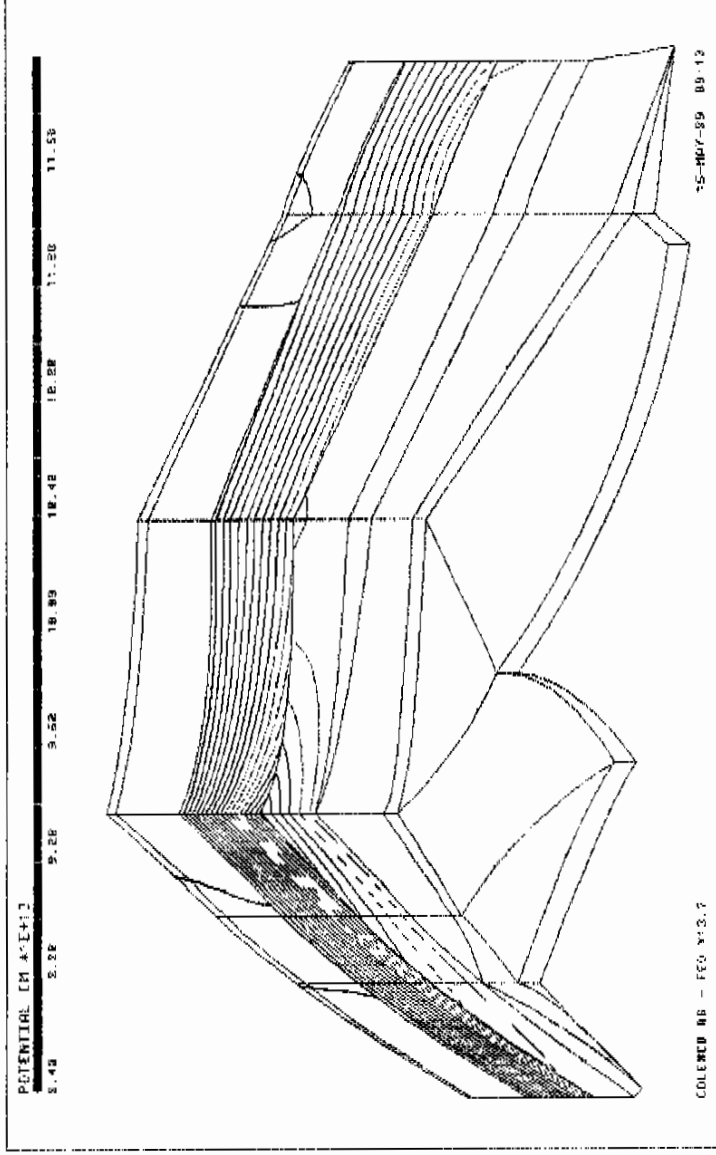


Abbildung B-13 Potentialverteilung im Rechenfall R34

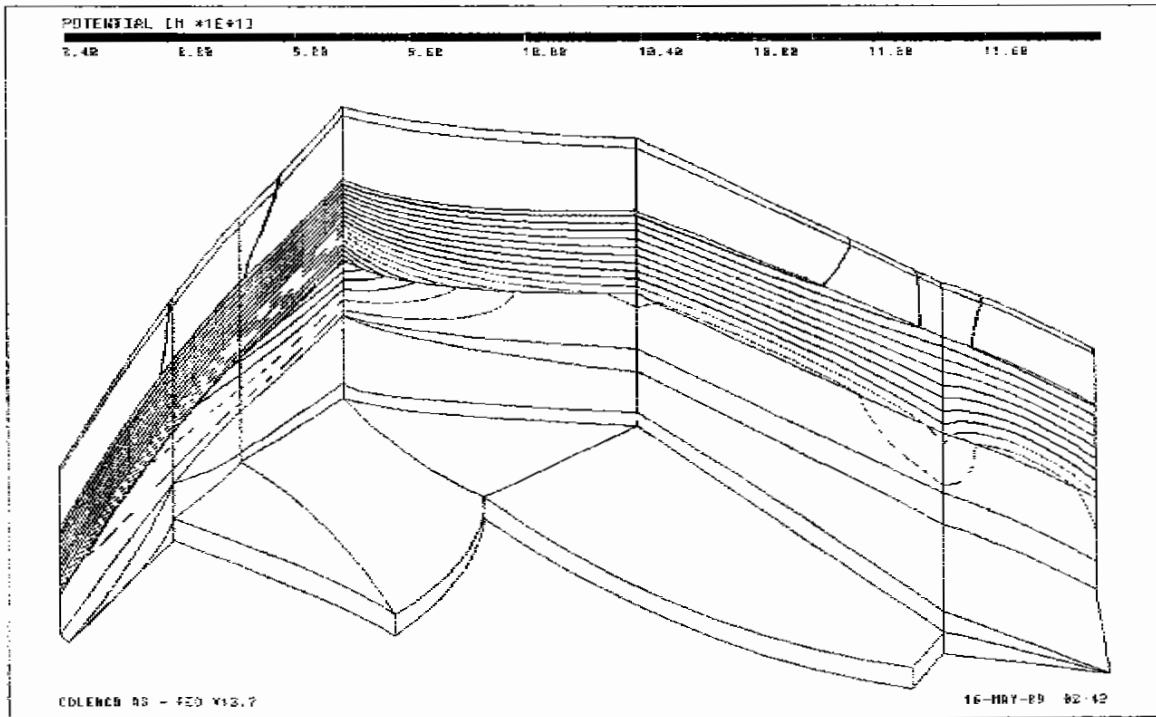


Abbildung B-14 Potentialverteilung im Rechenfall R35

SZ\_R16.XYZ SCHACHT,EL PTB\_R18.RES 60/45

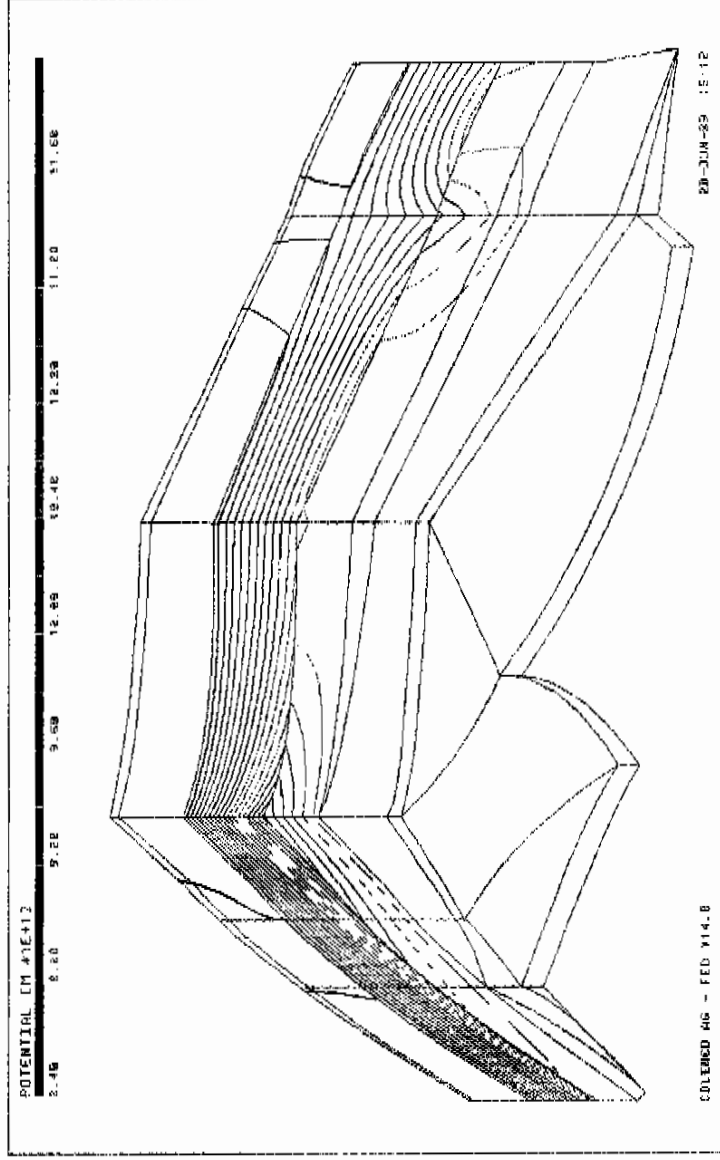


Abbildung B-15 Potentialverteilung im Rechenfall R38

IBZ\_RIS.XYZ SCHACHT.EL PTB\_R39.RES 50/45

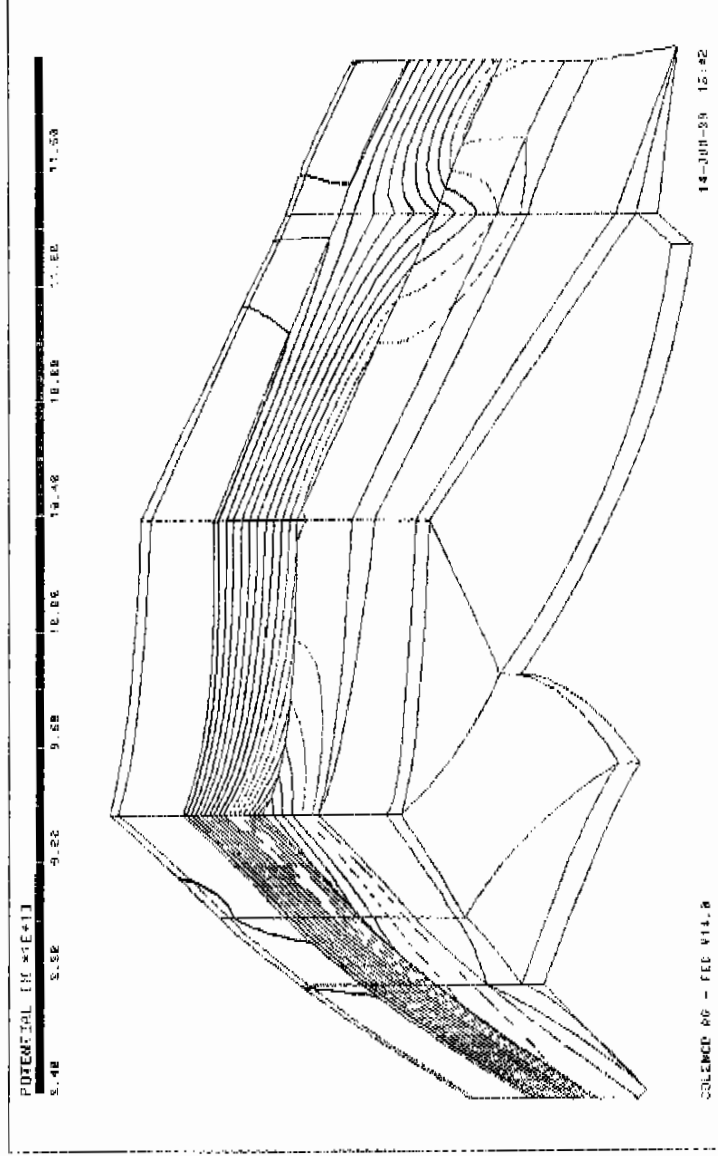


Abbildung B-16 Potentialverteilung im Rechenfall R39

BZ\_R16.872\_BAUTEN.EL\_R15\_ICP.PA - 60/20



Abbildung C-1 Trajektorien im Rechenfall R16

K-CLASSES

3 T E KRB NLS RL KRL ZE E S1 BRUP D C-N C-S L G3 K RD E



SOLOMO 85 - FEB 11.2.5

86-FRR-89 18.13

Abbildung C-2 Trajektorien im Rechenfall R18

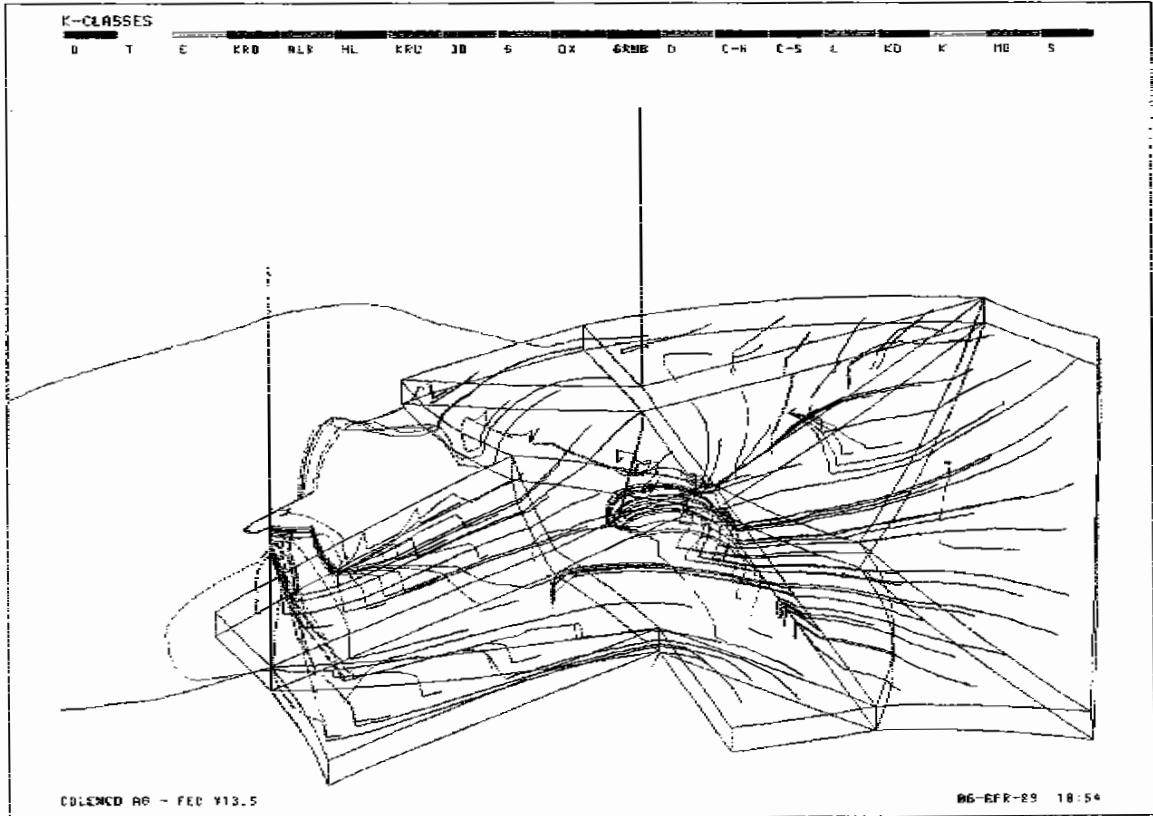


Abbildung C-3 Trajektorien im Rechenfall R20



Abbildung C-4 Trajektorien im Rechenfall R21



BZ\_E16\_XYZ BAUTEN\_EL BZS\_R22\_ICP\_PAI -6B/20

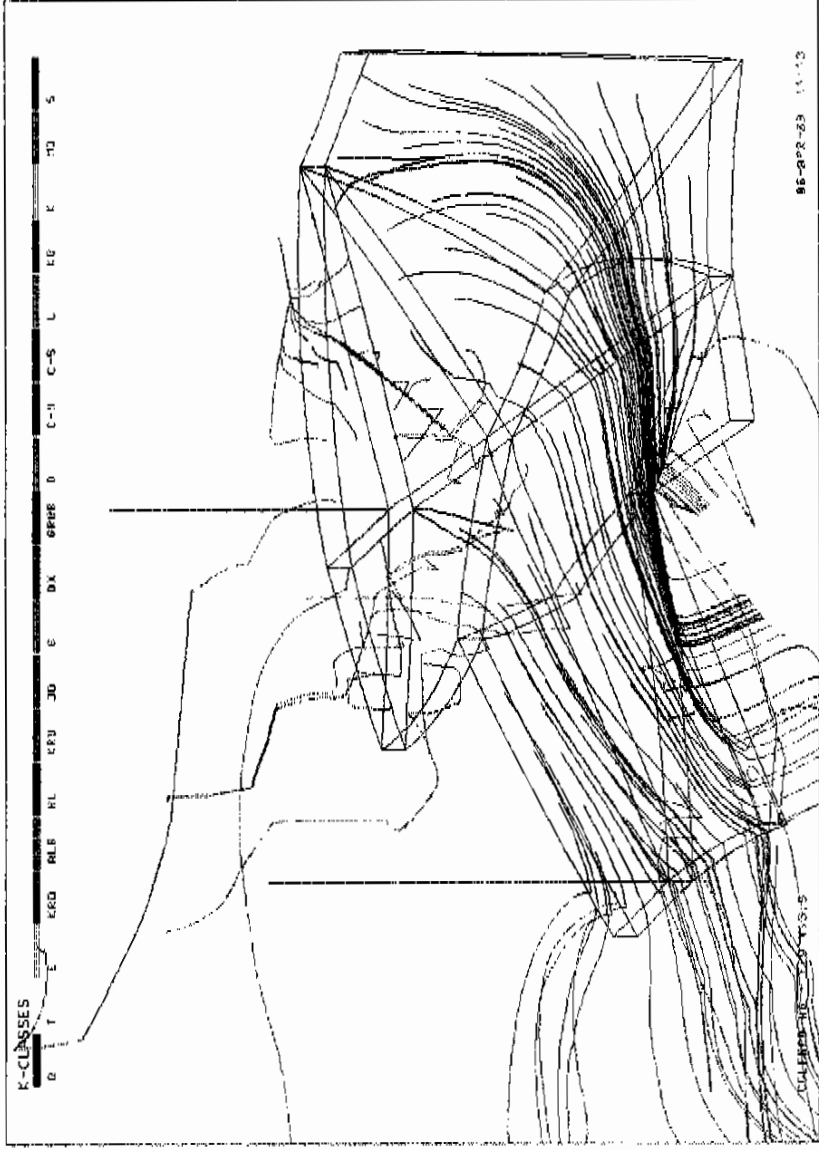


Abbildung C-5 Trajektorien im Rechenfall R22

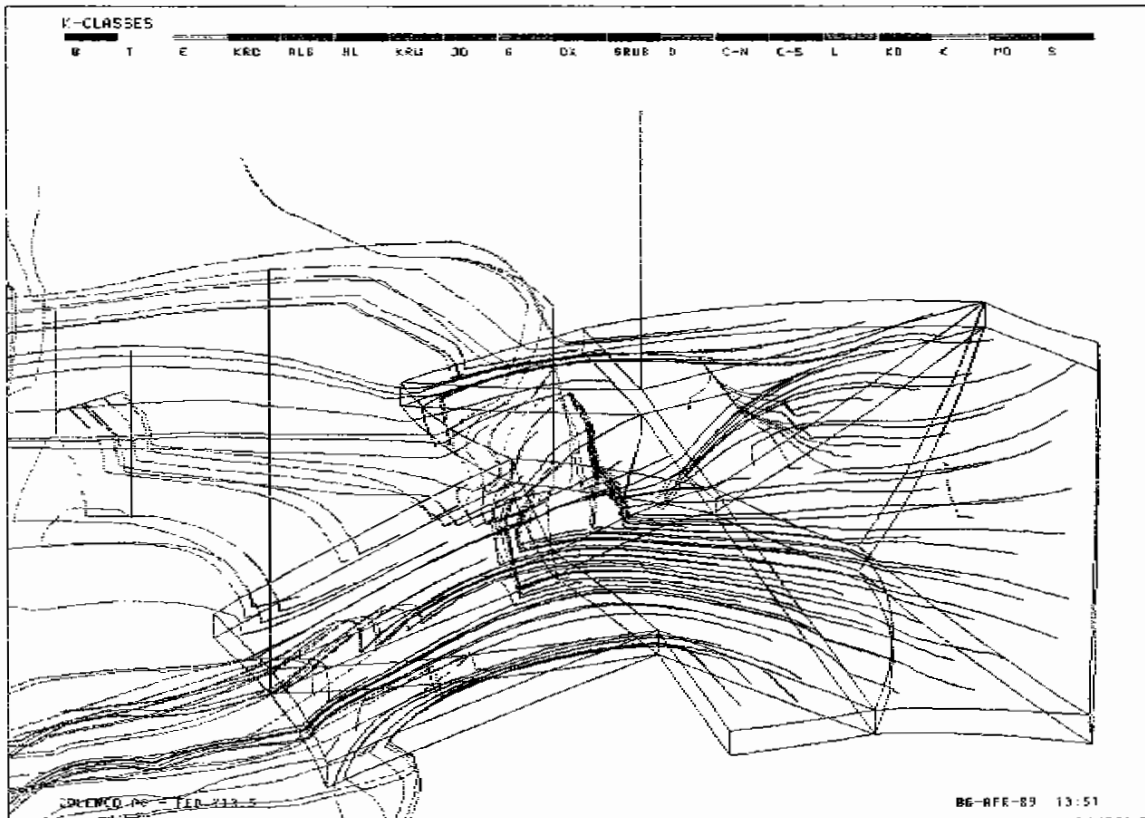


Abbildung C-6 Trajektorien im Rechenfall R23

BZ\_R16.XYZ BAUTEN\_EL BZS\_R24\_TOP.PAT -60/20

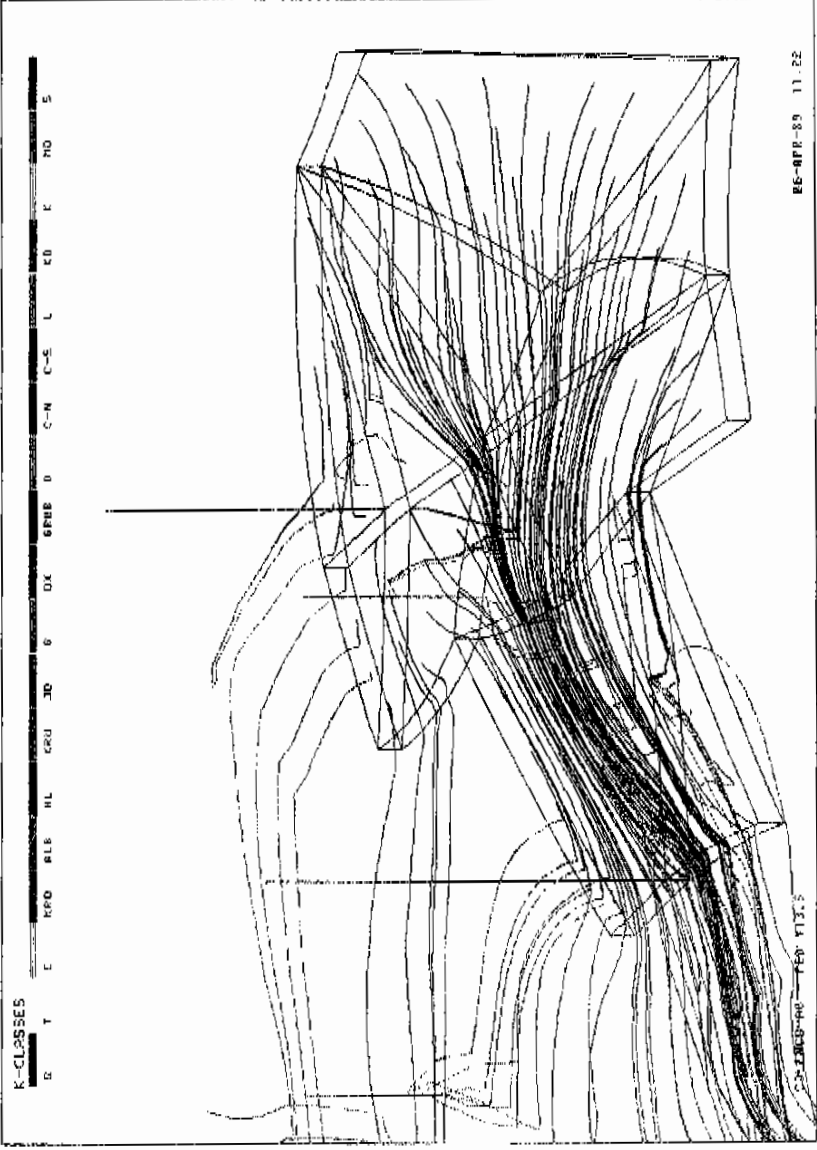


Abbildung C-7 Trajektorien im Rechenfall R24



Abbildung C-8 Trajektorien im Rechenfall R25



Abbildung C-9 Trajektorien im Rechenfall R26

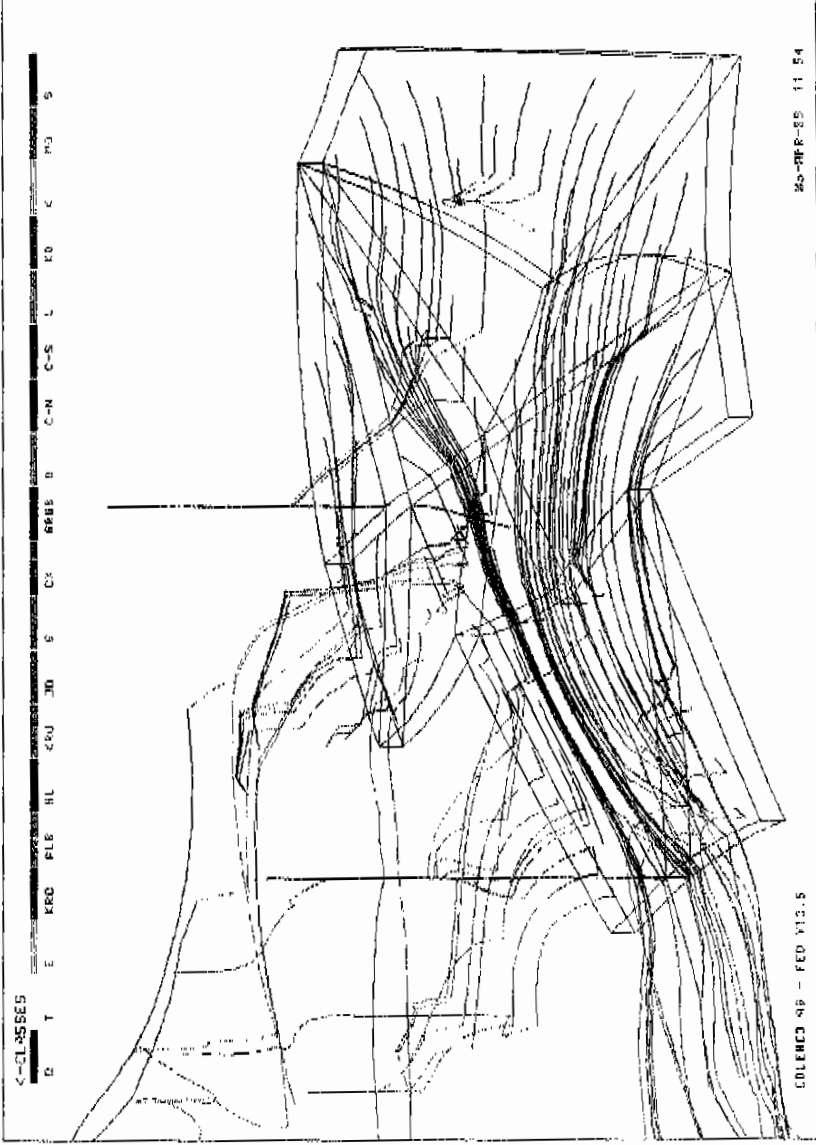


Abbildung C-10 Trajektorien im Rechenfall R27

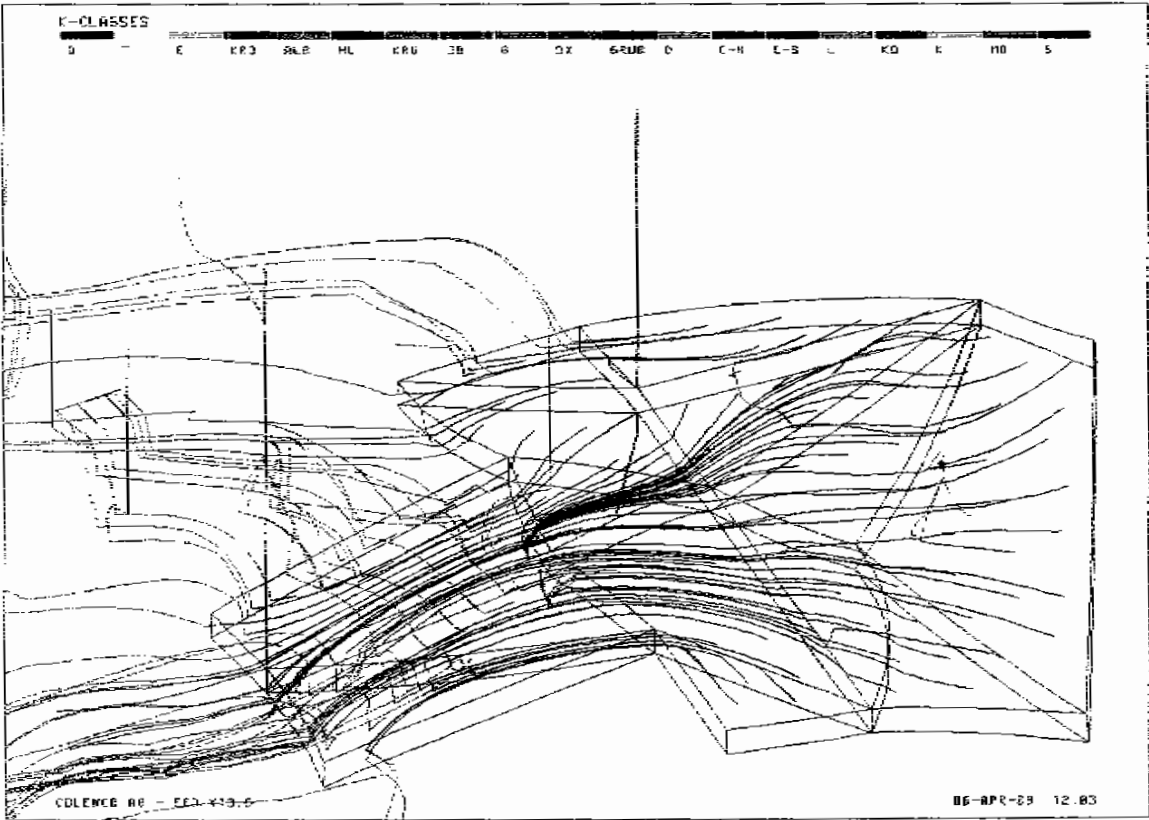


Abbildung C-11 Trajektorien im Rechenfall R28

SZ\_R1F.XYZ BAUFEN.EL SZS\_R33\_TOP.PAI -E0/20

K-CLASSES

G T E KRP BLS NL KRU J6 3 B7 BRJS D C-N C-S L CD K ME S

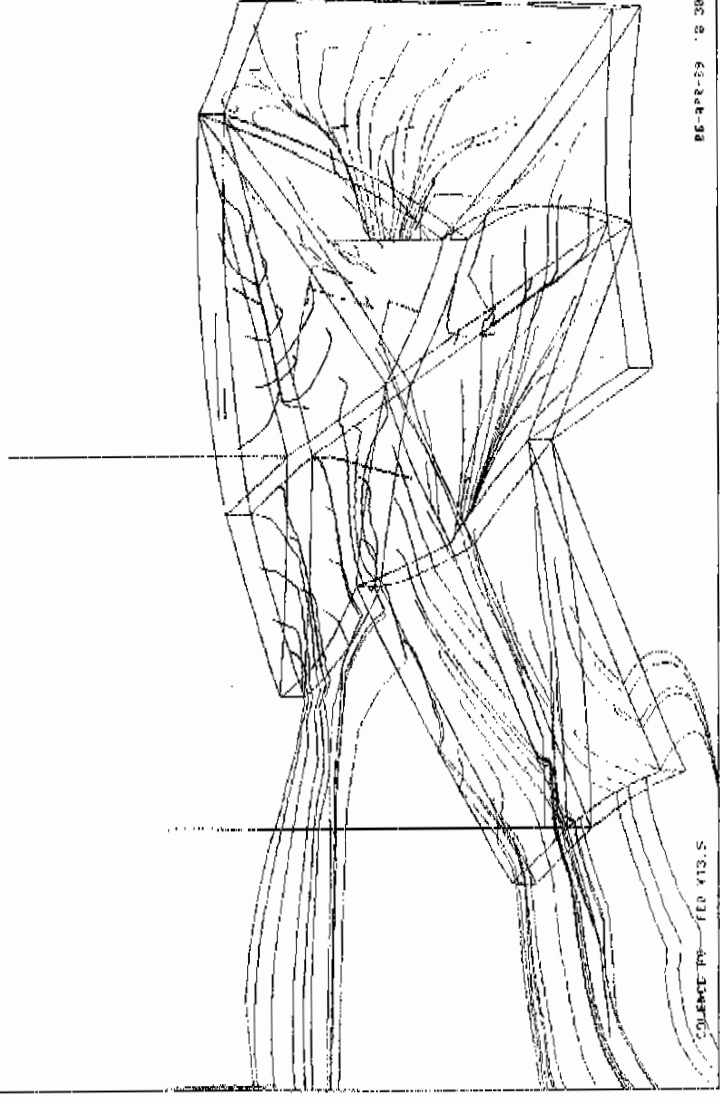


Abbildung C-12 Trajektorien im Rechenfall R33



BZ\_R16.XYZ BRJEN.EL R34.TOP.PAI -50/20

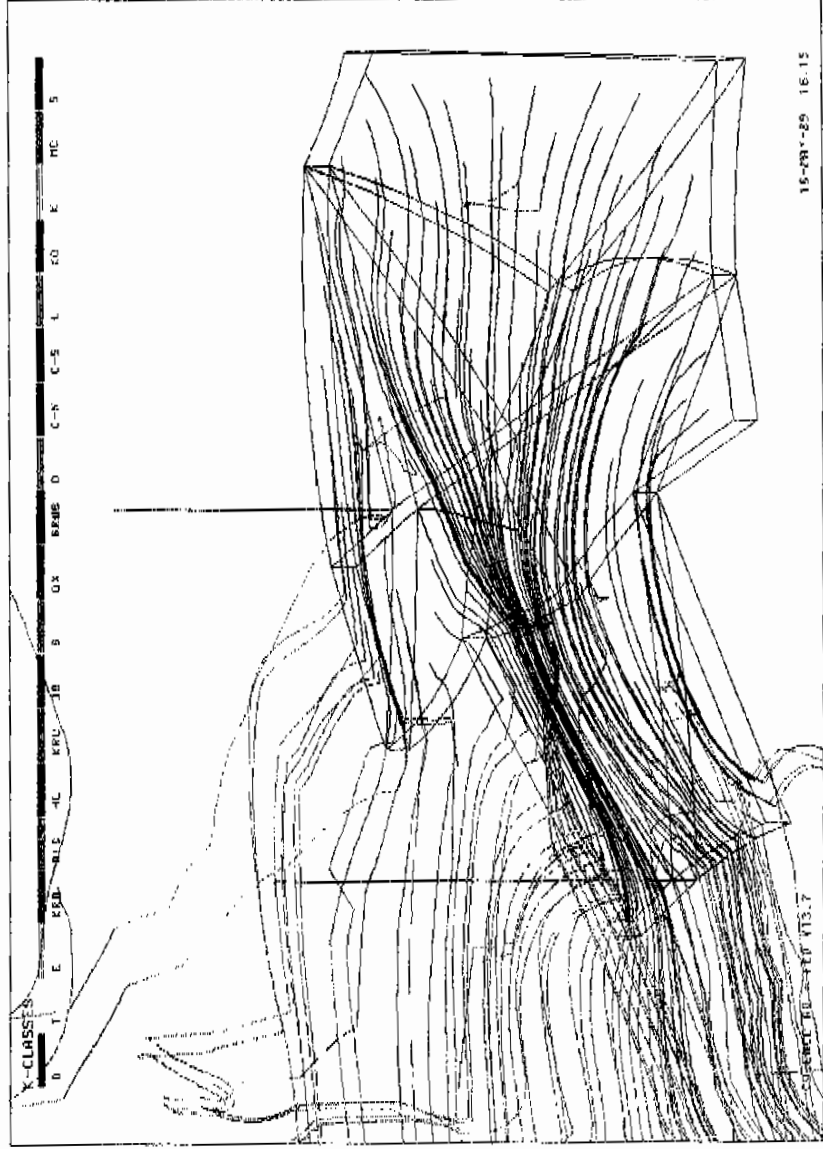


Abbildung C-13 Trajektorien im Rechenfall R34

BZ\_R15\_XYZ BAUTEN.EL BZS\_R35\_TOP.PAT -30/20

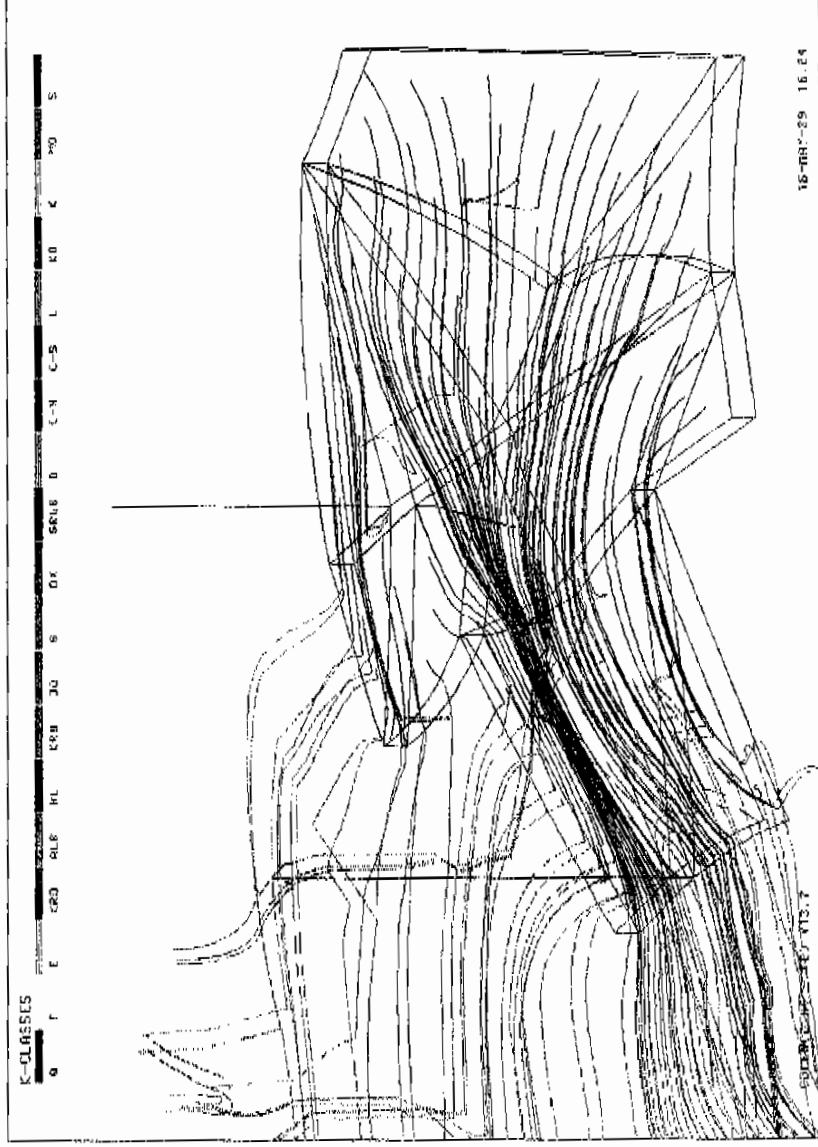


Abbildung C-14 Trajektorien im Rechenfall R35

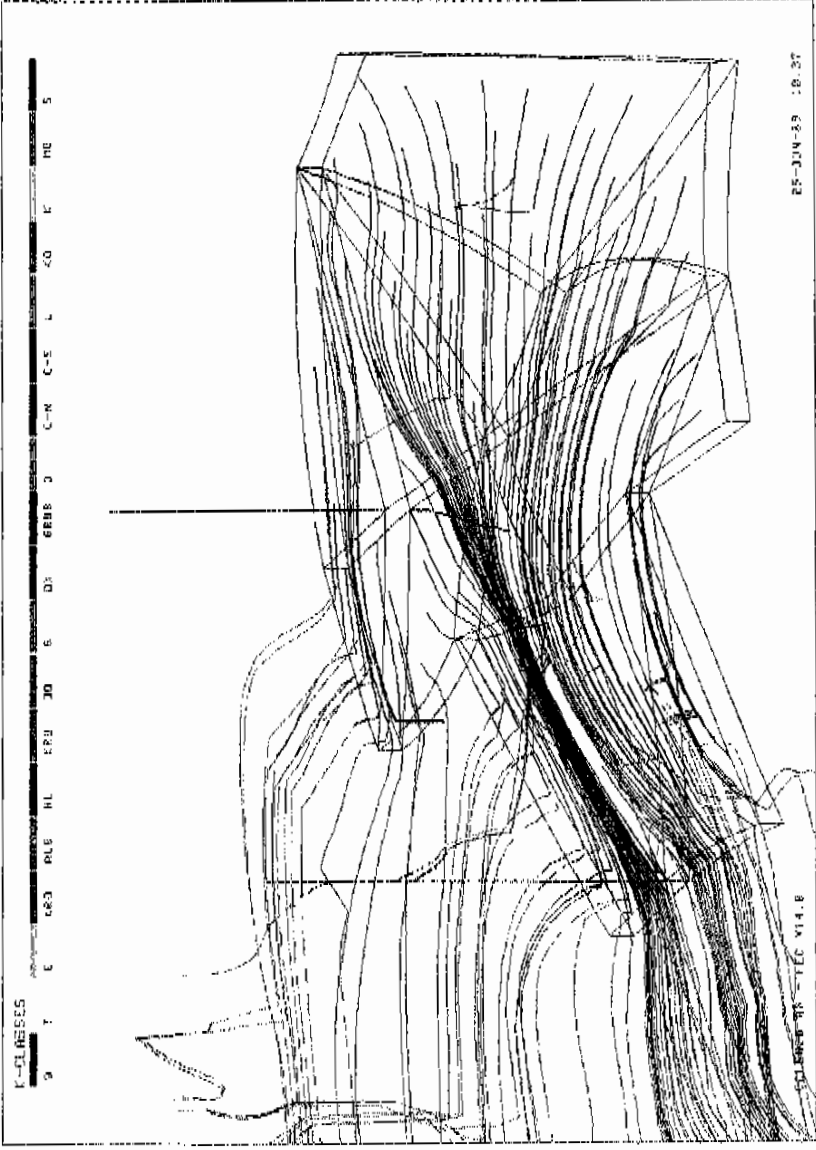


Abbildung C-15 Trajektorien im Rechenfall R38

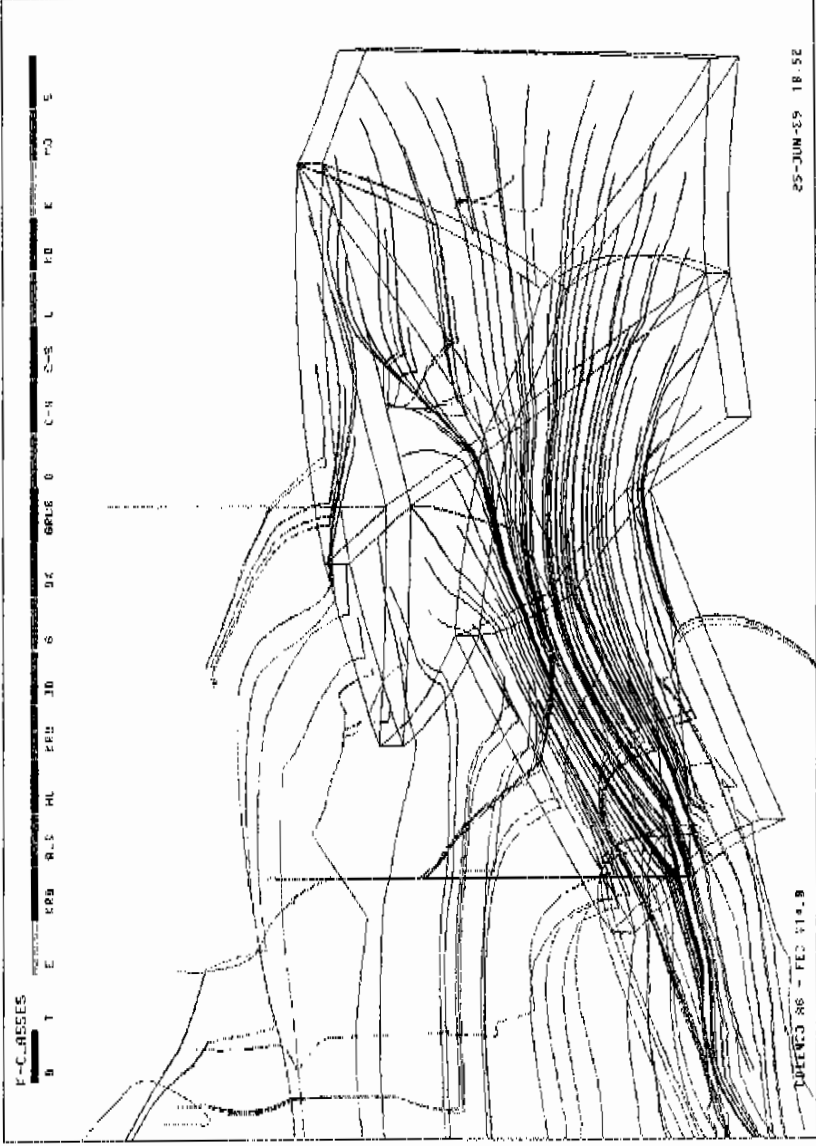


Abbildung C-16 Trajektorien im Rechenfall R39